D) Les chaussées

F
I
F

- D1) Définition et rôles des chaussées
- D2) Pourquoi une chaussée ?
- D3) Les couches d'une chaussée
- D4) Le trafic
- D5) Classification des sols en place
- D6) Réemploi des terres
- D7) Les granulats
- D8) Les différents produits
- D9) Les chaussées types
- D10) Le compactage



D1) Définition et rôles des chaussées

F
I
F

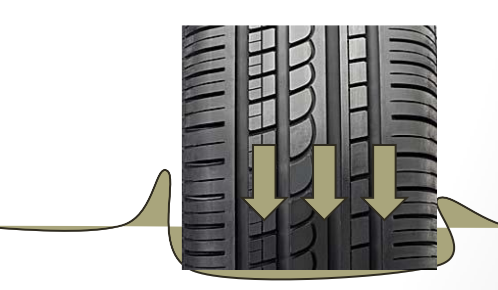
- La chaussée est la partie roulante de la voie forestière.
- C'est la structure qui va d'une rive à l'autre.
- Elle a pour objet :
  - D'absorber les charges dues aux véhicules
  - De supporter le poinçonnement résultant du stationnement des véhicules
  - D'encaisser les variations journalières et saisonnières de température et d'hygrométrie
  - De rejeter les eaux de pluie vers l'extérieur

D2) Pourquoi une chaussée ?

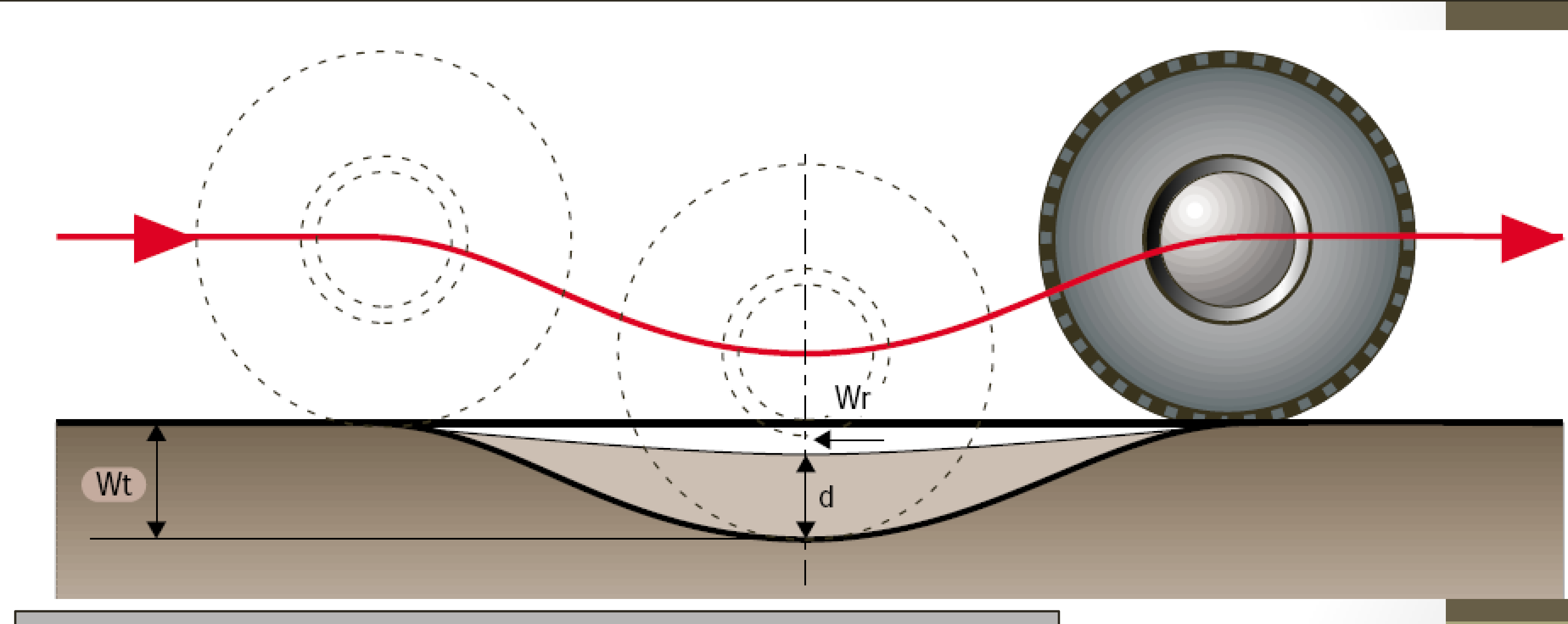
F
I
F

- Le poids du véhicule est transmis au sol, sous forme de pressions, par l'intermédiaire des pneumatiques.
- Si le sol n'est pas assez portant, il se forme une ornière.





- Le sol s'affaisse sous le pneu ; c'est la déformation totale Wt
- Lorsque la roue s'éloigne, il reste une déformation résiduelle Wr
- La déflexion est : d = Wt – Wr ; elle est inversement proportionnelle à la charge appliquée ; elle est constante quelque soit la fréquence de la charge.



✓ Sol porteur : Wr imperceptible

✓Sol peu porteur Wr augmente : orniérage

LA DEFLEXION

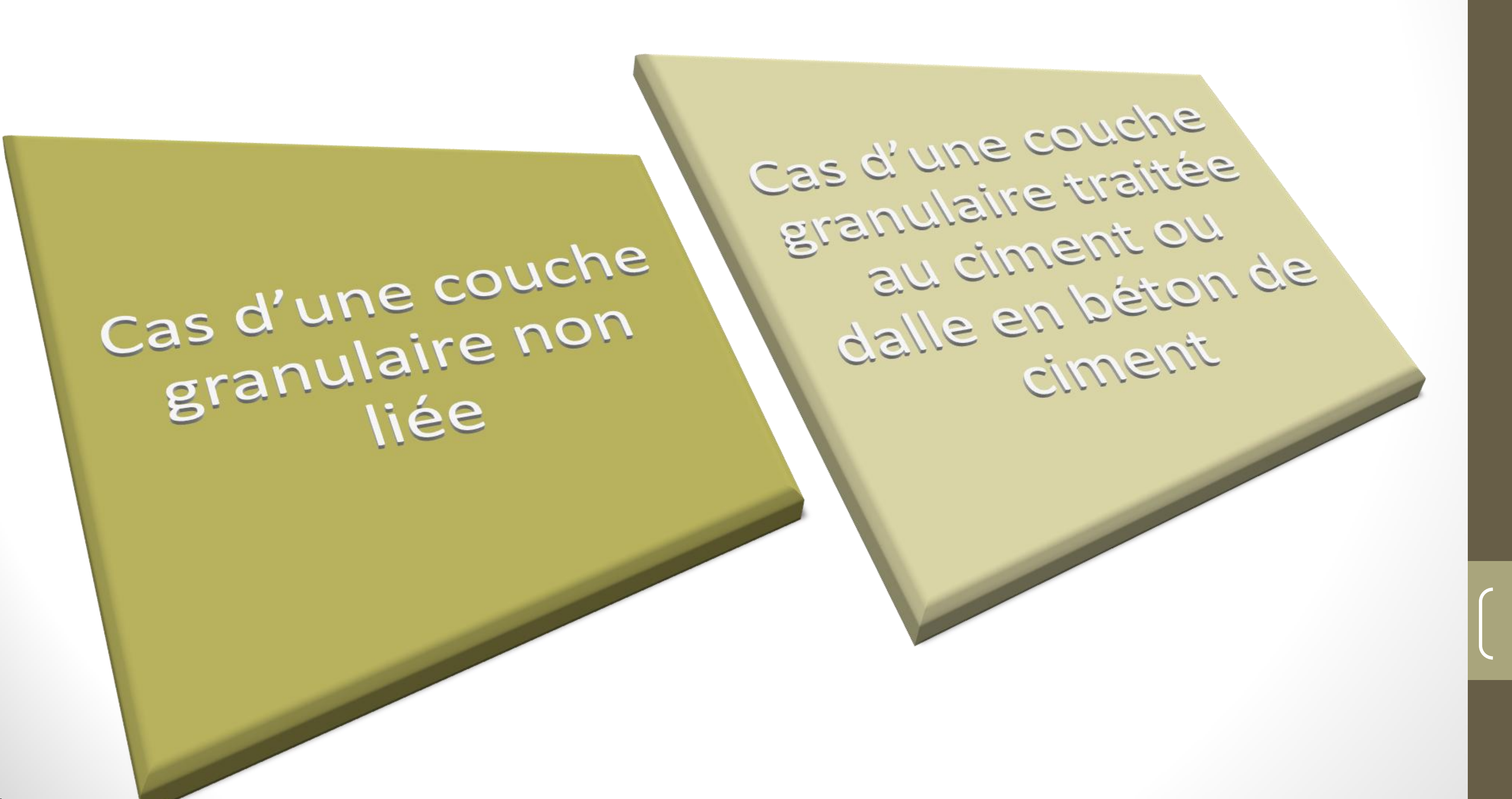
Les constituants de base

F
I
F

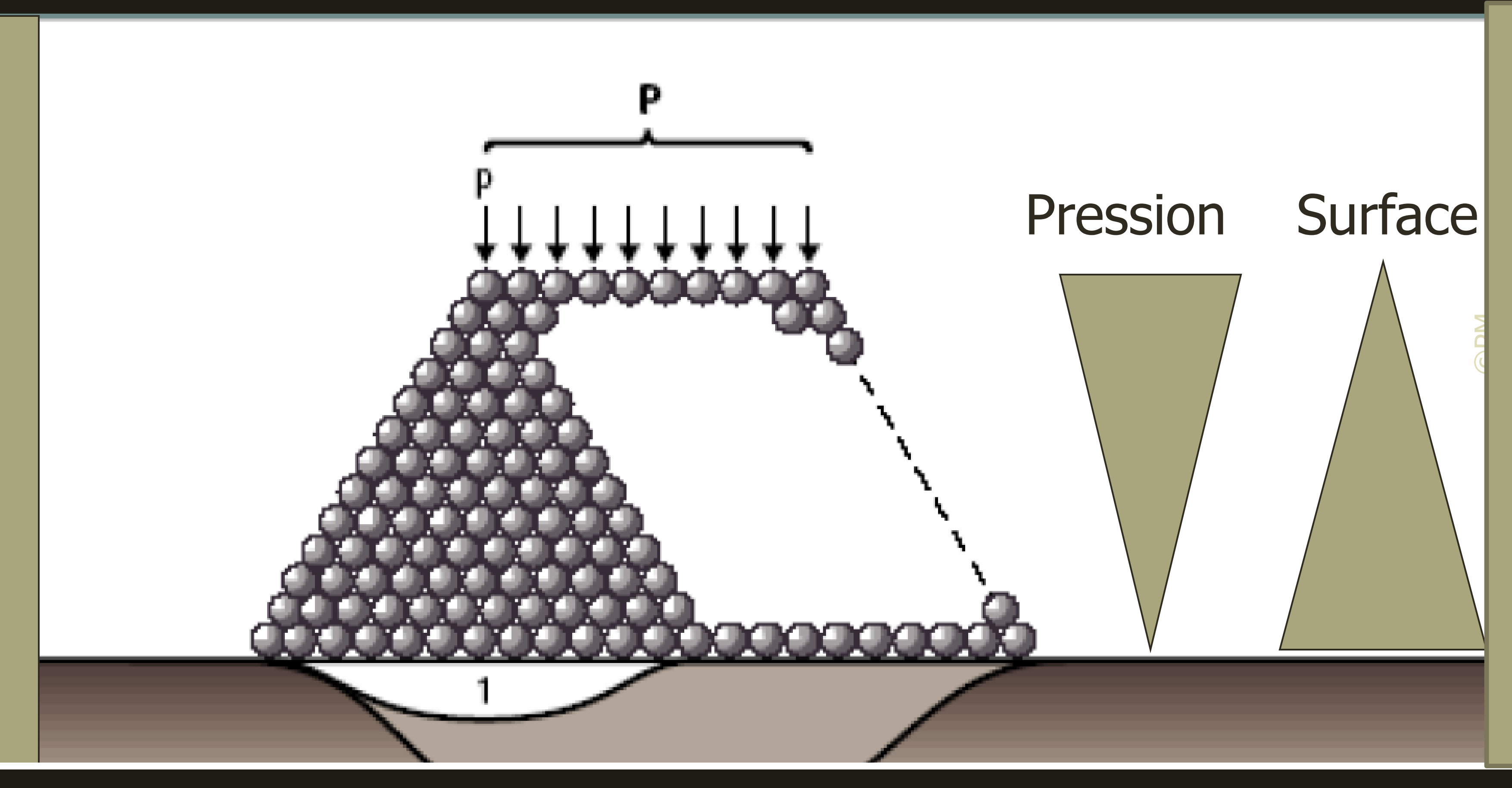
Constituants	
Sol en place	Utilisation en remblais + plate-forme
Granulats	Roches massives ou alluvionnaires
Liants hydrauliques	Ciments, laitiers…
Liants hydrocarbonés	Bitumes

Mise en place d'une chaussée

2 exemples :



Avec une couche granulaire non liée



Indépendance des grains constitutifs : travail en compression = transmission de la charge à la couche sous-jacente de la totalité de la charge mais sur une surface plus grande.

Modélisation

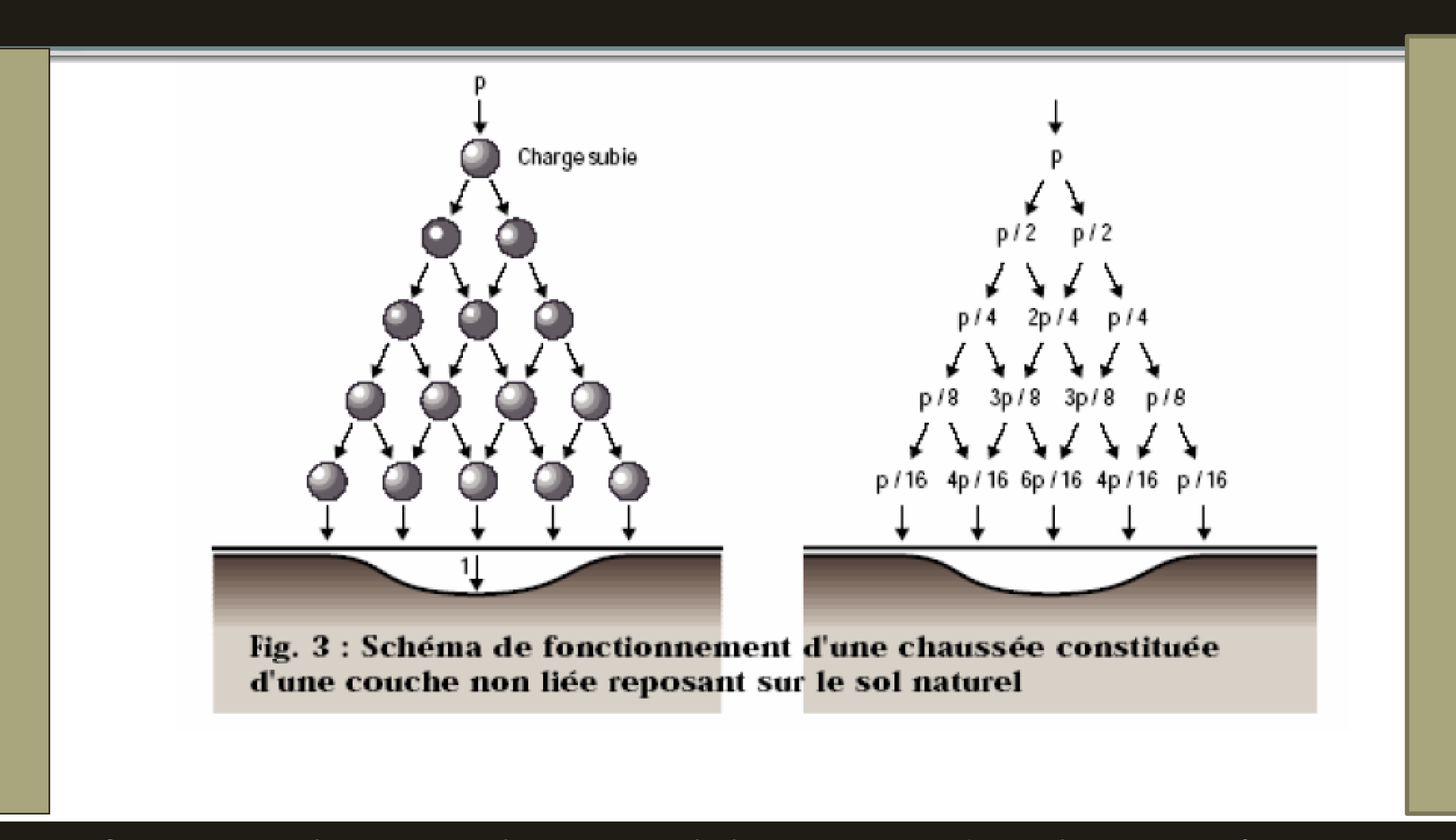


Fig. 3 : Schéma de fonctionnement d'une chaussée constituée d'une couche non liée reposant sur le sol naturel

A l'interface, couche granulaire – sol, la somme des charges réparties est égale à la charge P.

F
I
F

Couche granulaire non liée

- Sous l'action d'une charge, la couche granulaire non liée travaille essentiellement **en compression**.
- Pour dimensionner cette couche (épaisseur), il faut que la pression verticale maximale transmise au sol sous-jacent soit inférieure à la portance du sol.
- La couche granulaire non liée se comporte comme un sol, elle a :
  - Une déflexion d
  - Une déformation résiduaire Wr

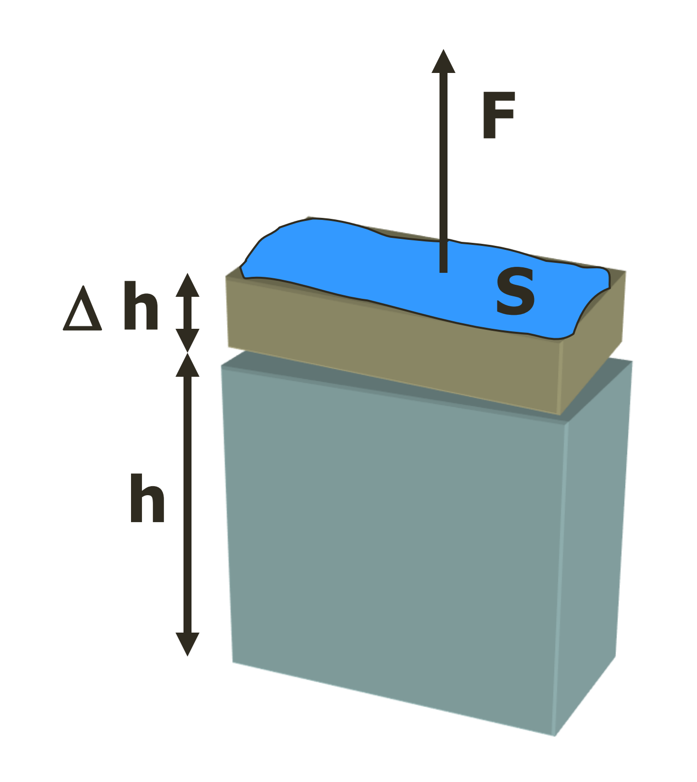
Schéma du module de YOUNG

F
I
F

Δh : hauteur déformé

h : hauteur du sol

déformation = Δh/h



F : force

S : surface

contrainte = F/S

©PM

Module d 'élasticité : contrainte/déformation

$$E = \frac{F/S}{\Delta h/h}$$

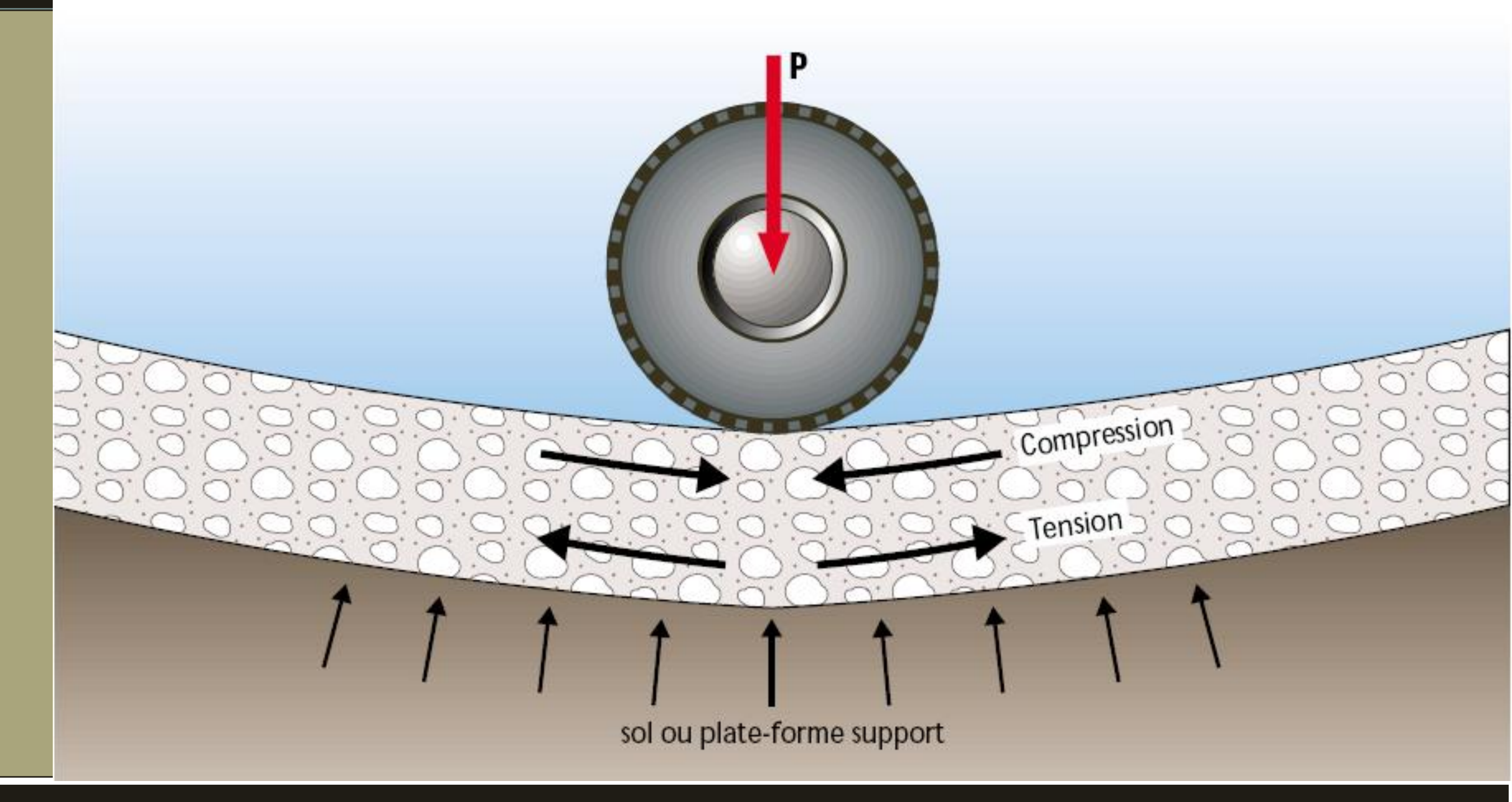
Quelques valeurs de E

F
I
F

Matériaux	Module d'élasticité E en Mpa
Acier	210000
Grave ciment	25000
Grave bitume	9000
Grave non traité	100 à 500
Sols	0 à > 200
Limite inférieure d'utilisation en remblai	30
caoutchoucs	10

1 Mpa = 10^6 Pa = 1 N/mm² = 1MN/m²= 10 bar

Avec une couche granulaire traitée au ciment ou une dalle de béton



Compression faible de par la répartition uniforme de la charge + traction par flexion à la base de la couche traitée ou de la dalle

couche granulaire traitée au ciment ou une dalle de béton

F
I
F

- Sous l’action d’une charge, la couche granulaire traitée au ciment ou la dalle en bêton subit une **contrainte de compression faible** et une **contrainte de traction par flexion** au niveau de la fibre inférieure.
- Passages répétés = risques de fissuration
- Pour dimensionner cette couche (épaisseur), il faut :
  - déterminer la contrainte à la traction de la couche traitée ou de la dalle et s’assurer qu’elle est inférieure à la contrainte de traction admissible du matériau (ex : Rtf résistance à la traction par flexion > 4,5 Mpa)
  - Apprécier le comportement à la fatigue de la couche traitée ou de la dalle

Conclusion

F
I
F

- Le rôle d'une chaussée est de répartir les charges sur une plus grande surface et de réduire les pressions transmises au sol. **La chaussée constitue un écran.**
- **3 grands types de chaussée :**
  - **Chaussée souple : matériau non traité ou traité au bitume (travail en compression)**
  - **Chaussée semi-rigide : matériaux traités au ciment (traction par flexion)**
  - **Chaussée rigide : dalle en bêton (traction par flexion)**

D3) Les couches d'une chaussée

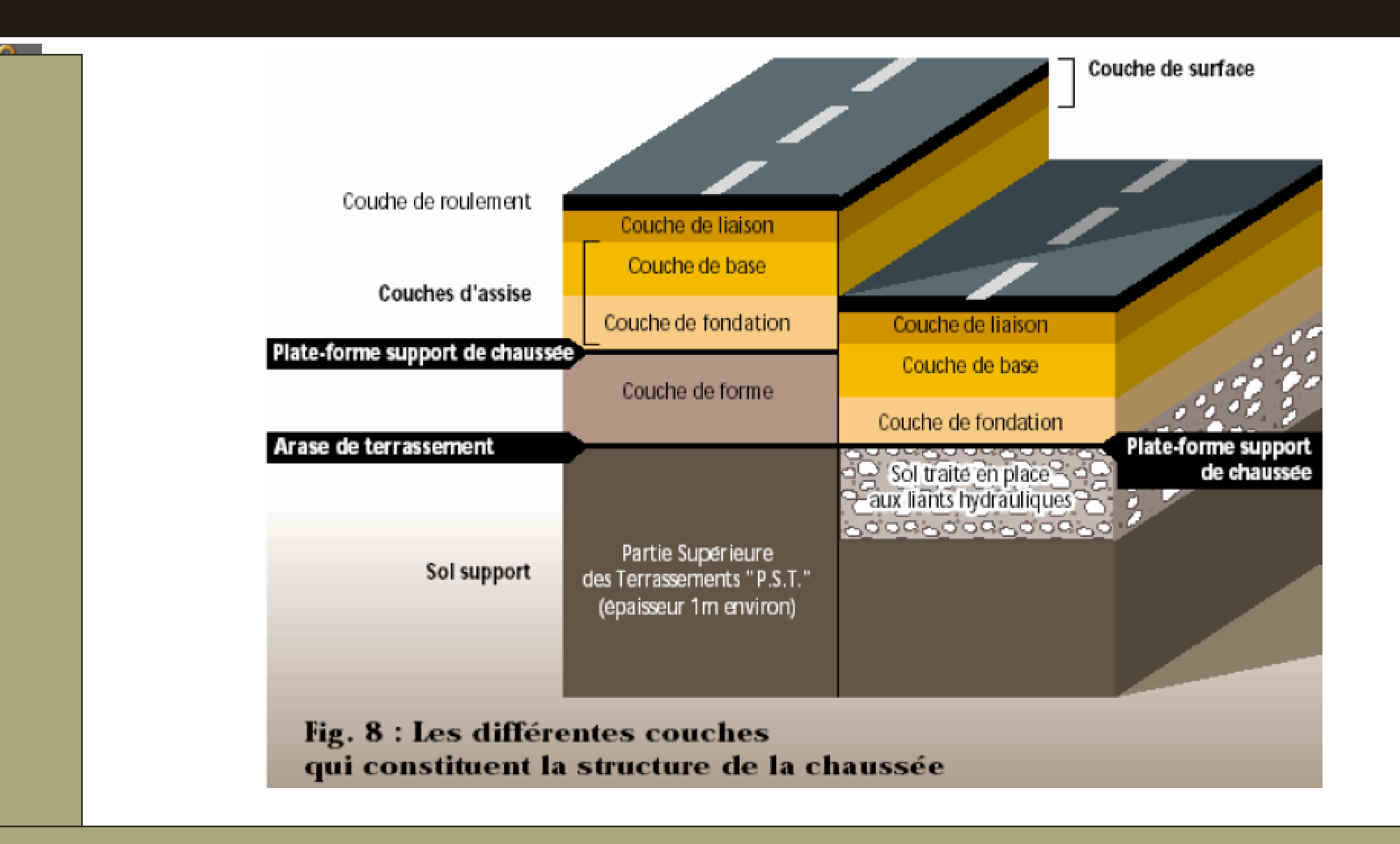


Fig. 8 : Les différentes couches qui constituent la structure de la chaussée

Les rôles des couches

F
I
F

Chaussée		Rôles
De surface	De roulement	S'opposer à la pénétration de l'eau
	De liaison	Résister aux efforts horizontaux des pneumatiques par cisasaillement (accélération, freinage, rotation des roues non motrices)
D'assises	De base	Résister à la pression verticale
	De fondation	Interface
Plate-forme support de chaussée (PST)		
De forme		Uniformiser la portance du sol
Arase terrassement (AR)		
Sol support		Possibilité de traiter aux liants hydrauliques

Les types de chaussées La chaussée souple

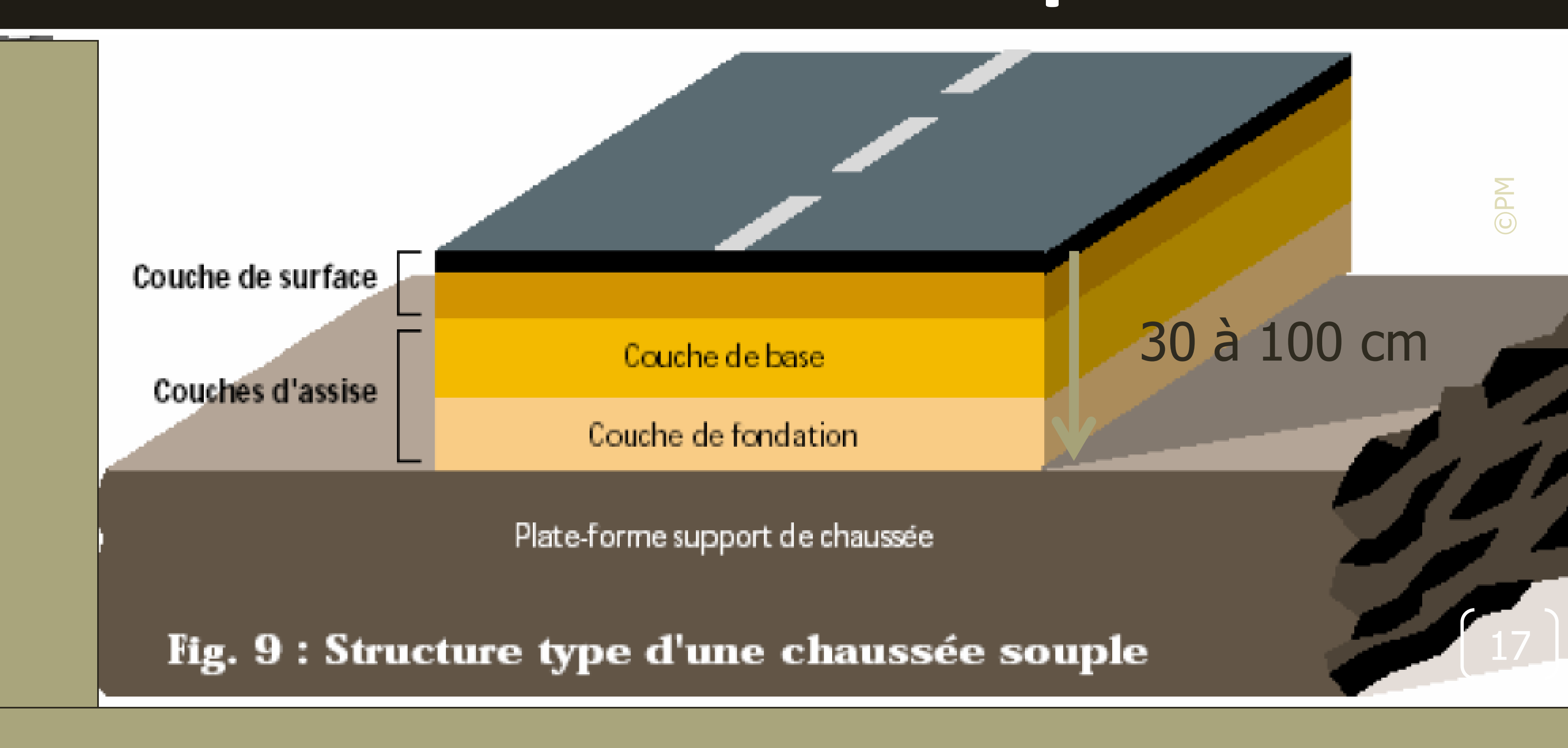


Fig. 9 : Structure type d'une chaussée souple

Chaussée souple en grave non traitée

Avantages

- Structures économiques

Inconvénients

- E faible de 100 à 500 Mpa
- Faible rigidité
- Epaisseur élevée

Utilisée pour les routes à faible trafic
GNT

Chaussée souple en grave traité aux liants hydrocarbonés

Avantages

- E plus élevé : E de 1000 à 15000 Mpa
- Dosage en liant faible (3 à 6%)

Inconvénients

- Module dépend de la température à 40°C 1/10 du module à 10°C

Utilisable pour les routes à faible trafic mais plus cher
GB : grave bitume

Chaussée semi-rigide

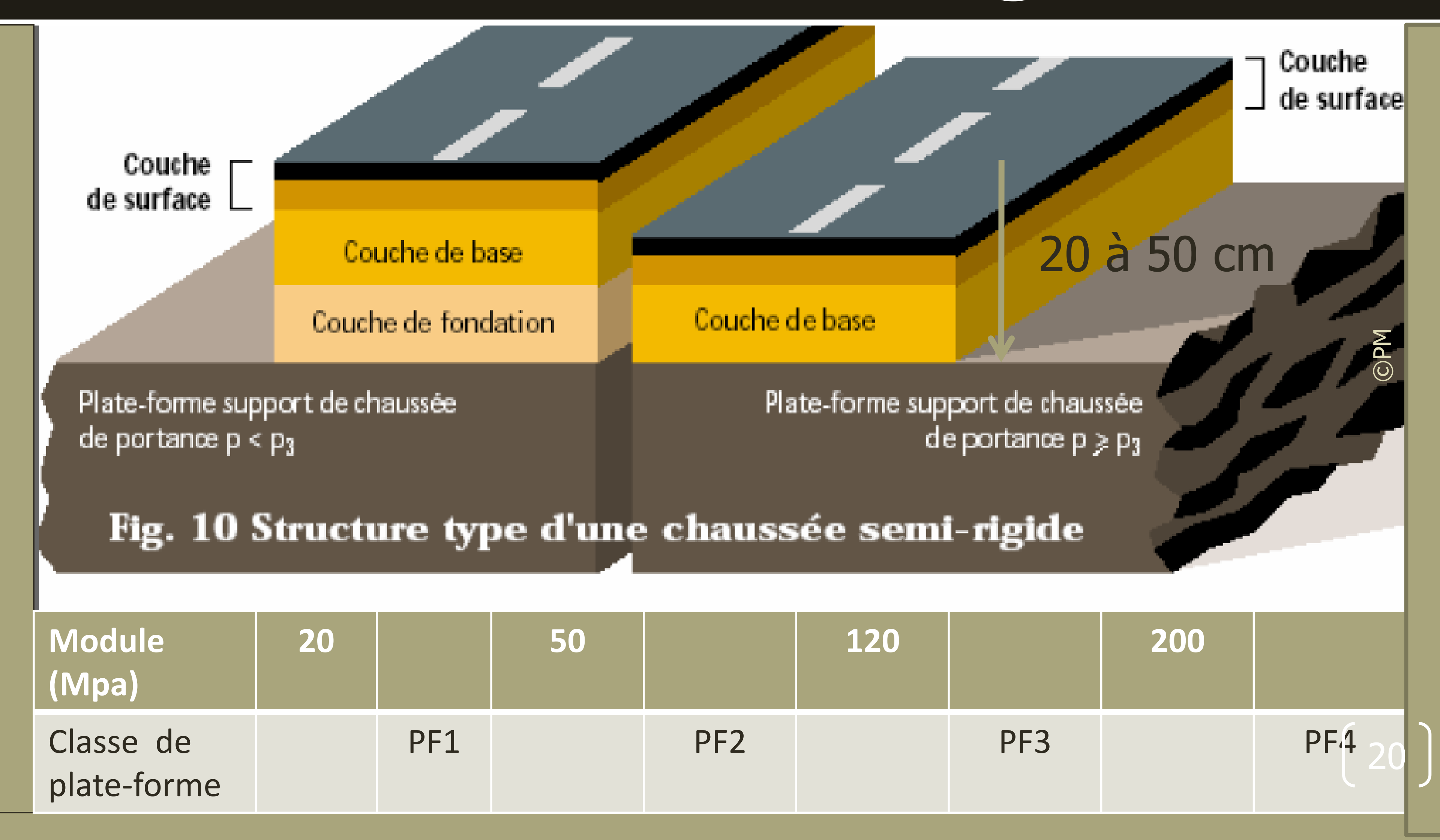


Fig. 10 Structure type d'une chaussée semi-rigide

Module (Mpa)	20		50		120		200	
Classe de plate-forme		PF1		PF2		PF3		PF4

Chaussée semi-rigide

Avantages

- E encore plus élevé : E de 25000 Mpa (grave-ciment)
- Caractéristiques mécaniques élevées

Inconvénients

- Fissures possibles
- Courbe de fatigue plate qui nécessite aucune erreur de dimensionnement et pas de surcharges

Souvent trop cher pour la voirie forestière
GTLH / GC : grave ciment

Chaussée rigide

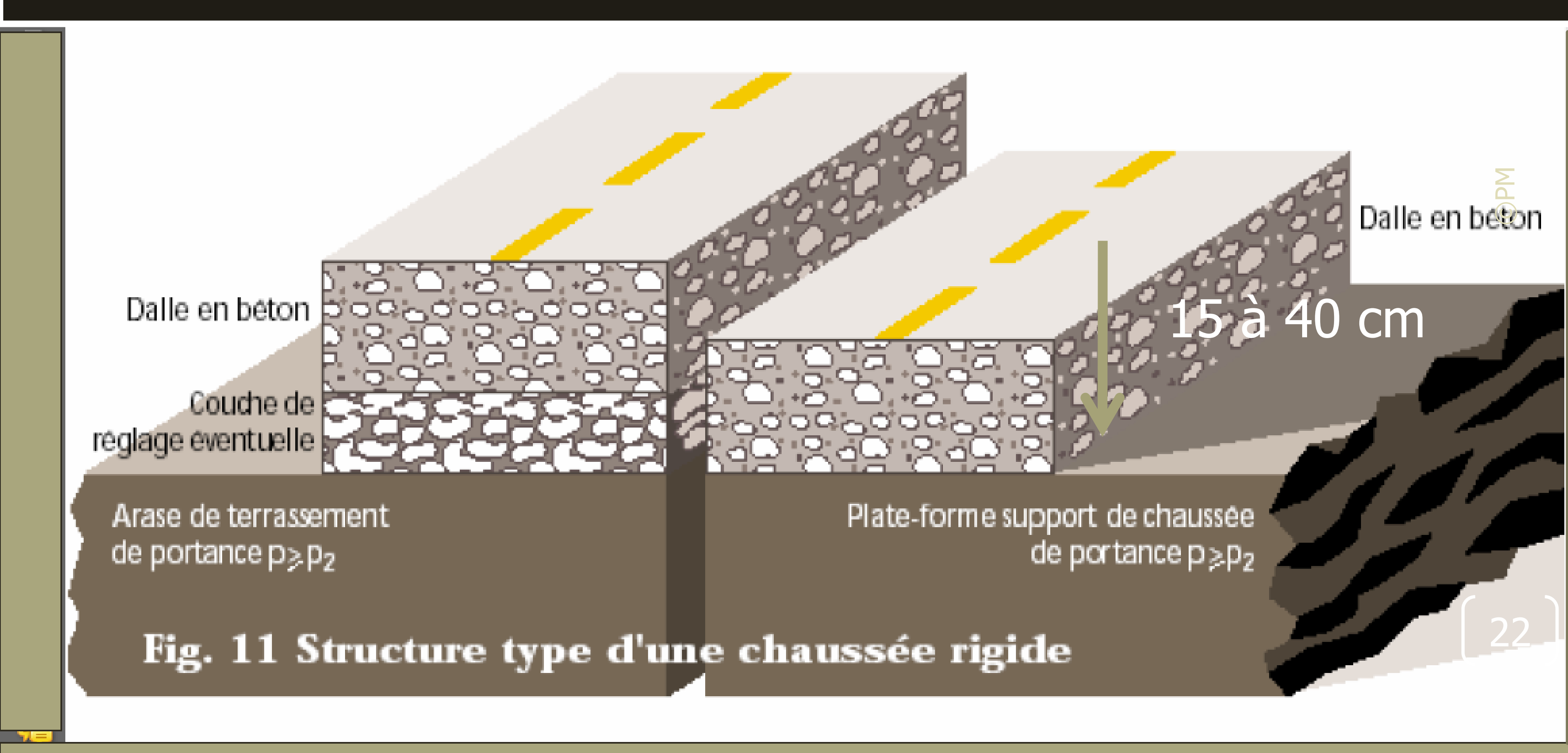


Fig. 11 Structure type d'une chaussée rigide

Chaussée rigide

Avantages

- E Très élevé : E de 35000 à 40000 Mpa
- Réduction de l'épaisseur
- Durabilité élevée

Inconvénients

- Fissures possibles
- Courbe de fatigue relativement plate
- Taux de liants élevé : de 12 à 15 %
- Pas d'utilisation en pente

Handicap économique et topographique

Conclusion

F
I
F

Types de structure	Couche surface	Couche de base	Couche de fondation	Epaisseur totale
souple	Enrobé ou enduit ou fermeture ou rien	Traitée au bitume ou non traitée < 15 cm	Non traitée 20 à 90 cm	30 à 100 cm
Bitumineuse épaisse	Enrobé 6 à 14 cm	Traitée au bitume 15 à 40 cm		20 à 50 cm
Semi-rigide	idem	Traitée au ciment 20 à 50 cm		20 à 50 cm
Mixte	idem	Traitée au bitume De 10 à 20 cm	Traitée au ciment De 20 à 40 cm	40 à 75 cm
Inverse	idem	Non traitée de 12 cm	Traitée au ciment de 15 à 50 cm	40 à 80 cm
rigide	Idem ou rien	Béton de ciment de 15 à 40 cm		20 à 50 cm

D4) Le trafic

F
I
F

- Le trafic est un élément essentiel du dimensionnement de la chaussée.
- Le poids des véhicules est transmis au sol par l'intermédiaire des pneumatiques sous la forme de pression :
  - véhicule léger : P = 0.22 MPa
  - Poids lourd : P = 0.66 MPa
  - 1 Mpa = 10^6 Pa = 1 N/mm² = 10 bar

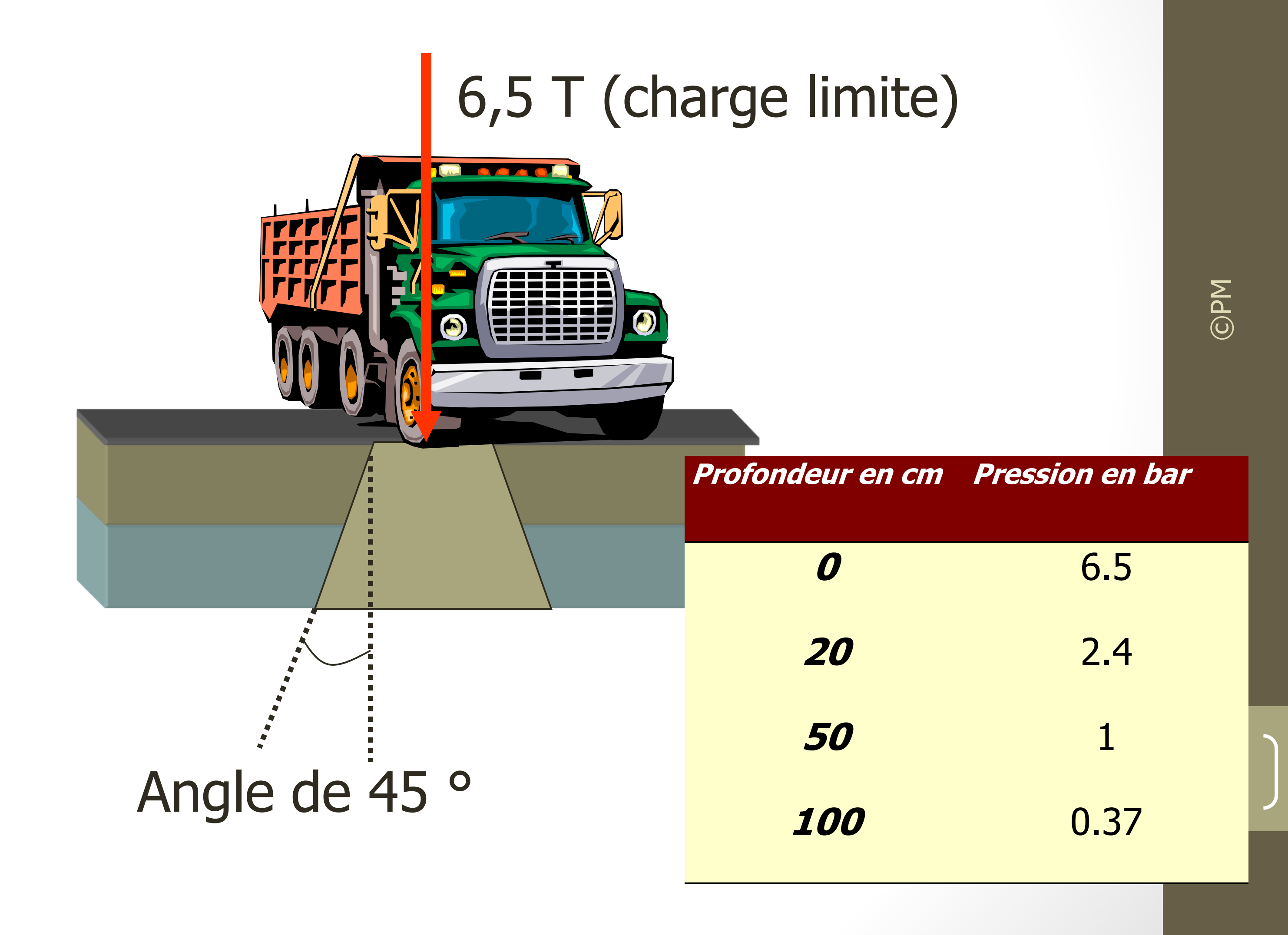
Règlementation

Code de la route	Nombre d'essieux	PTAC en T	PTRA en T	Largeur	Longueur	Dérogation Bois PTRA en T
Porteur	2	19		2,55	12	**Achat à partir de 2009** 5 essieux 48 T 6 et plus 57 T **Avant 2009** 5 essieux 52 T 6 et plus 57 T
	3	26				
	4 et > 4	32				
Véhicule articulé	4 et > 4		38		16,5	
Train routier+ train double	4		38		18,75	
	5		40			
	6 et > 6		44			

Le poids maximum que peut supporter un essieu isolé est de 13 T.

Exemple

FIF



Profondeur en cm	*Pression en bar*
0	6.5
20	2.4
50	1
100	0.37

Surcharge

F
I
F

7,5 T (surcharge de 2T par essieu)

Il faudrait multiplier l 'épaisseur de la chaussée par 2 sur une chaussée souple.

Il faudrait multiplier l 'épaisseur de la chaussée par 5,5 sur une chaussée rigide.

Effet du trafic

F
I
F

P/ en nbre essieux de 13T	Chaussée souple	Chaussée rigide
2T	$0.9 * 10^{-4}$	$1.8 * 10^{-10}$
6T	0.02	$0.9 * 10^{-4}$
10T	0.27	0.04
13T	1	1
15T	2	5.5

Il faut plus de 11 000 passages d'essieux de 2T pour causer un endommagement équivalent à celui d'un essieu de 13T sur une chaussée souple.

Influence des PL sur les coûts de construction

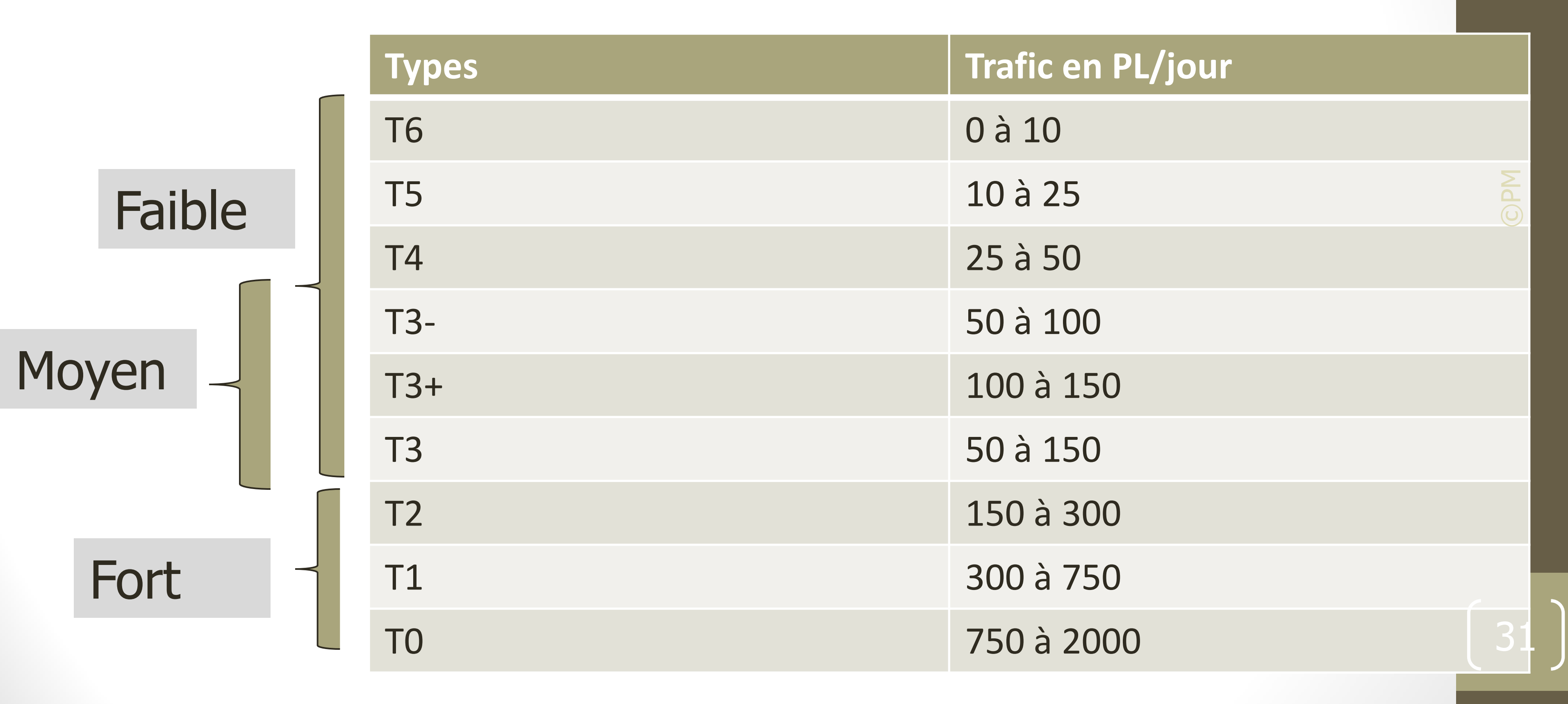
F
I
F

PTRA (T)	Part du trafic (%)	Classe d'agressivité
De 7,5 à 12	23	1
De 19 à 26	9,3	2
> 38	67,7	3

Coefficient d'équivalence des coûts de construction de chaussées

VL	PL 1	PL2	PL3
1	34	47	63

Classes de trafic



Types	Trafic en PL/jour
T6	0 à 10
T5	10 à 25
T4	25 à 50
T3-	50 à 100
T3+	100 à 150
T3	50 à 150
T2	150 à 300
T1	300 à 750
T0	750 à 2000

Trafic annuel (modèle ONF)

F
I
F

- NE=C*N
  - NE = nombre équivalent d'essieux simple de 13 T
  - C = coefficient d'équivalence
  - N = nombre de camions

Nbre essieux / chaussée	2 essieux	3 essieux	4 essieux et +
Souple	1	0,5	1,5
Rigide	1	2	3

Valeur de C

Exercice

F
I
F

- Route forestière à chaussée souple
- Passage annuel de :
  - 50 camions à 3 essieux
  - 200 camions à 5 essieux dont ¼ en surcharge de 2 t/essieu
- Calcul de NE

Calculs et discussion

F
I
F

- NE = 0,5*50 + 1,5*150 + 3*50
- NE = 400 essieux équivalents de 13 T
- Le nombre sert à évaluer la catégorie de trafic des routes forestières.
- NE ≤ 150 Catégorie T (routes forestières secondaires)
- NE > 150 Catégorie T* (routes forestières principales)

Trafic cumulé

F
I
F

- TC = 365 * N * (d + (t * d *(d-1))/2) * r
- N = nombre de PL par jour
- t : taux de croissance linéaire annuel (2%)
- d = durée de vie de la route (20 ans)
- r = répartition transversale des Pl (1)

$*10^6$	TC0	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8
Lim inf		0,1	0,2	0,5	1,5	2,5	6,5	17,5	43,5
Lim sup	0,1	0,2	0,5	1,5	2,5	6,5	17,5	43,5	

Conclusion

F
I
F

- Le réseau français comporte 2 000 000 km dont 88 % est à faible trafic.
- Les dessertes forestières sont à très faible trafic mais les (sur)charges occasionnent des dégâts importants.
- Il ne faut donc pas sous-estimer la conception des chaussées.

D5) Classification des sols en place

F
I
F

- Peut-on utiliser les matériaux sur place pour réaliser les remblais et les éventuelles couches de forme ?
- Comment le déterminer ?
  - Par leur nature, leur comportement ou leur état
- Nature
  - Granularité et argilosité
- Comportement
  - Résistance au chocs, résistance aux frottements, friabilité pour les sols sableux
- Etat
  - Etat hydrique et portance

D51) Paramètres de nature

F
I
F

- Granularité : analyse granulométrique (annexe 1)
  - D_{max} = dimension maximale des plus gros éléments contenus dans le sol, tamisats à 2 mm et à 0,08 ou 0,063 mm (Le tamisat à 0,080 mm est remplacé par celui à 0,063 mm avec % de passant à 0,063 = 9/10 du % de passant à 0,080)

- Argilosité (annexe 2)
  - L'indice de plasticité IP
  - La valeur au bleu de méthylène VBS ou la masse au bleu MB

4 classes de sol + Rochers

FIF

A
- Sols fins

B
- Sols sableux ou graveleux avec fines

C
- Sols comportant des fines et des gros éléments

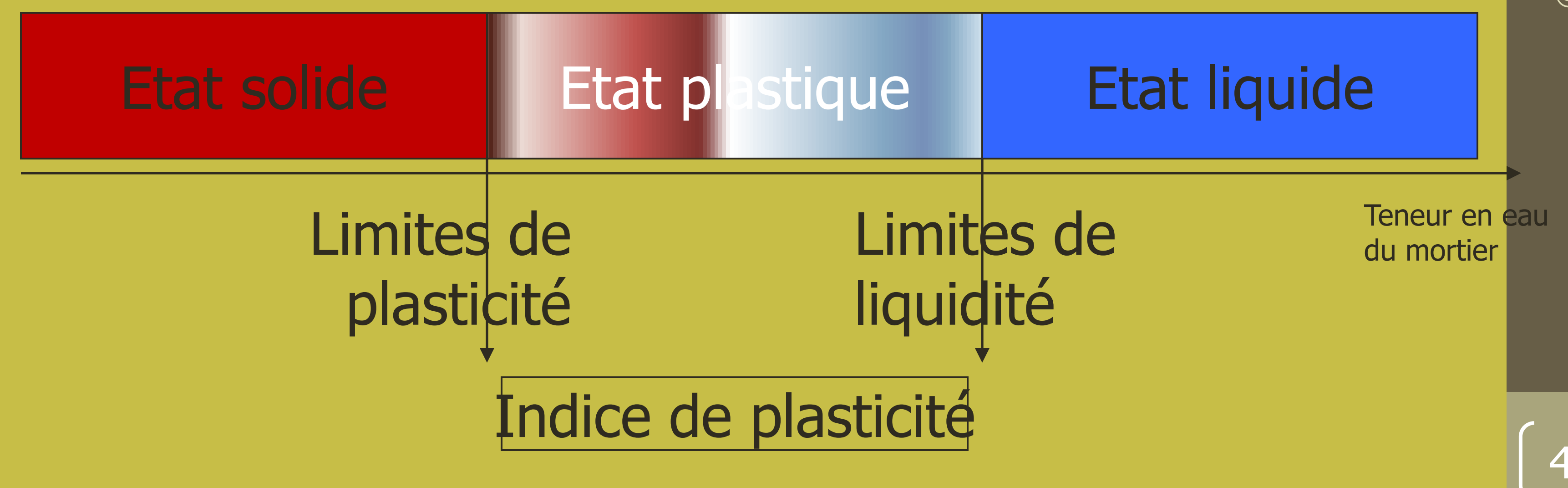
D
- Sols insensibles à l'eau

Photocopie 1 : sols A, B, C, D

Indice de plasticité Ip

F
I
F

Les limites sont des teneurs en eau correspondant à des états physiques du sol analysé.



Quelques valeurs de Ip

Photocopie 1 : A2 à A4

IP	Degré de plasticité
0 à 5	Non plastique
5 à 12	Peu plastique
12 à 25	Moyen Plastique
> 25 à 40	Très Plastique
➢ 40	Très plastique

VBS valeur au bleu

F
I
F

- Cet essai permet d'observer la quantité et l'activité de la fraction argileuse contenue dans un sol ou un matériaux rocheux.
- Pour ce faire, on fixe, sur les grains d'argile des molécules de bleu de méthylène et par un test simple, on évalue la quantité de bleu fixé.
- On en déduit la Vbs (valeur au bleu du sol) ,ou Mbs (masse au bleu du sol) qui est un indicateur essentiel dans la classification des sols concernés par les travaux de terrassement.

Valeurs de VBS

Photocopie 1 classe A

F
I
F

Valeurs de VBS	Propriétés
< 0.1 + tamisat à 80 **µm** ≤ 12%	Sol insensible à l'eau **Classe D**
Entre 0,1 et 0,2	Insensible à l'eau : sables et graves
Entre 0,2 et 1,5	Sols sablo-limoneux, sensible à l'eau
Seuil 1,5 et 2,5	Sols sablo-argileux, peu plastique
Entre 2,5 et 6	Sols limoneux de plasticité moyenne
Entre 6 et 8	Sols argileux
> 8	Sols très argileux

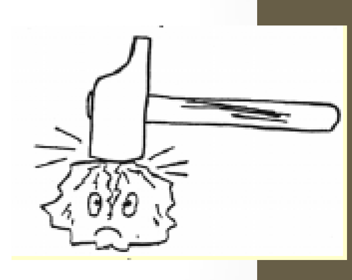
D52 Paramètres de comportement dynamique

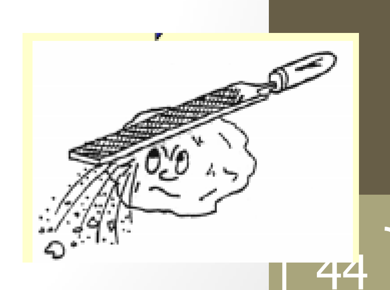
FIF

- Les sols de nature comparable peuvent se comporter de manière différente sous l'action de charges identiques.
- 3 essais :
  - Résistance aux chocs : L_A Los Angeles
  - Résistance aux frottements en présence d 'eau :

  M_{DE} Micro Deval
  - F_S friabilité des sables

  (Modes opératoires en annexe 3)





L_A Los Angeles, M_{DE} Micro Deval et F_S friabilité des sable

F I F

Essais	Test	Mesures	Seuil
L_A Los Angeles	Simule le passage répété d'un poids lourd qui risque de fragmenter les granulats	Passing à 1,6 mm Plus il est élevé, plus les granulats sont tendres.	**$L_A \leq 45$**
M_{DE} Micro Deval	Simule le comportement d'un granulat par temps de pluie	Idem Plus il est élevé, plus les granulats s'usent vite.	**$M_{DE} \leq 45$**
F_S friabilité des sable	Pour les sols sableux	Refus à O,2 mm Plus il est élevé plus les sables sont friables	**$F_S \leq 60$**

Photocopie 1 : D 21 à D 32

Photocopie 1 : D11 et D12

A53 Paramètres d'état

F
I
F

- Il s'agit des paramètres qui ne sont pas propres au sol, mais fonction de l'environnement dans lequel il se trouve. L'état hydrique du matériau est le principal des paramètres.
  - Teneur en eau / Optimum Proctor Normal *Ralph R. Proctor (1933)*
  - Indice de consistance *M. Atterberg (1911).*
  - Indice portant immédiat

(Modes opératoires en Annexe 4)

A531 Teneur en eau naturelle

F
I
F

$$W_N = \frac{PH-PS}{PS} * 100$$

W_N = teneur en eau exprimée en %

PH = poids humide

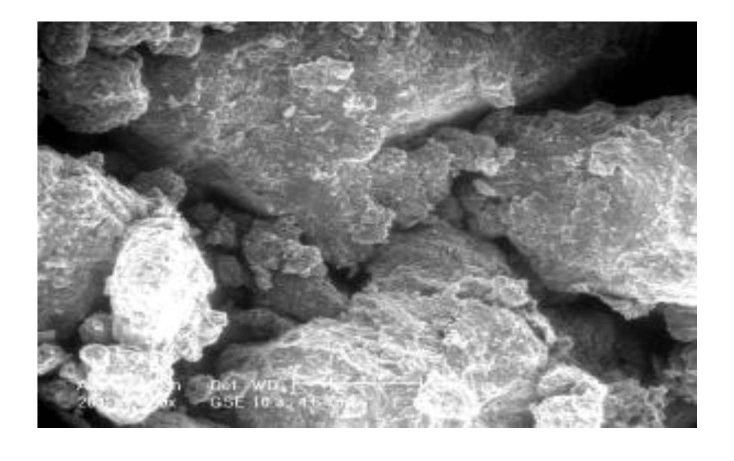
PS = poids sec

Définition :

Quantité d 'eau exprimée en % que contient un solide.

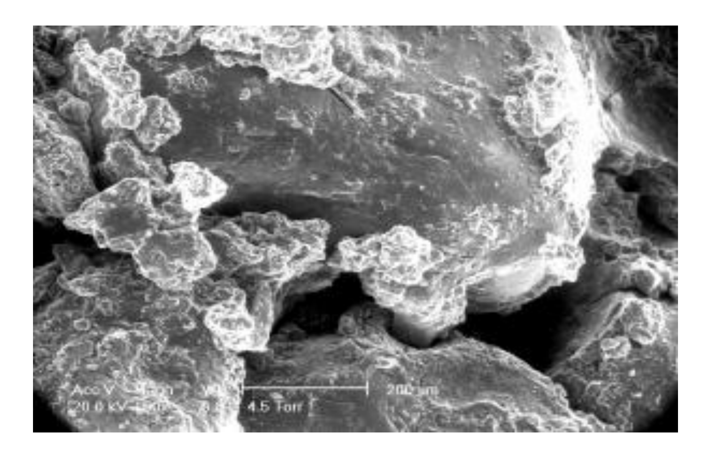
- Pesée de l 'échantillon humide (30 à 50 gr pour les argiles, 1 à 3 kg pour les graviers et sables)
- Etuvage de l 'échantillon à 105°C (jusqu'à ce que la masse reste constante)
- Pesée de l 'échantillon sec

FIF



Grossissements progressifs dans une argile très plastique (Indice de plasticité 60), composée de 60 % de smectites et 40 % d’illite. L’échantillon a été compacté à une faible teneur en eau et une faible densité.

F
I
F



Photographies prises successivement au cours d’un cycle humidification-séchage dans un sable argileux. On peut distinguer les paquets argileux "collés" sur un grain de sable de quelques centaines de microns.

Etats hydriques

Photocopie 1 : sols A1

F
I
F

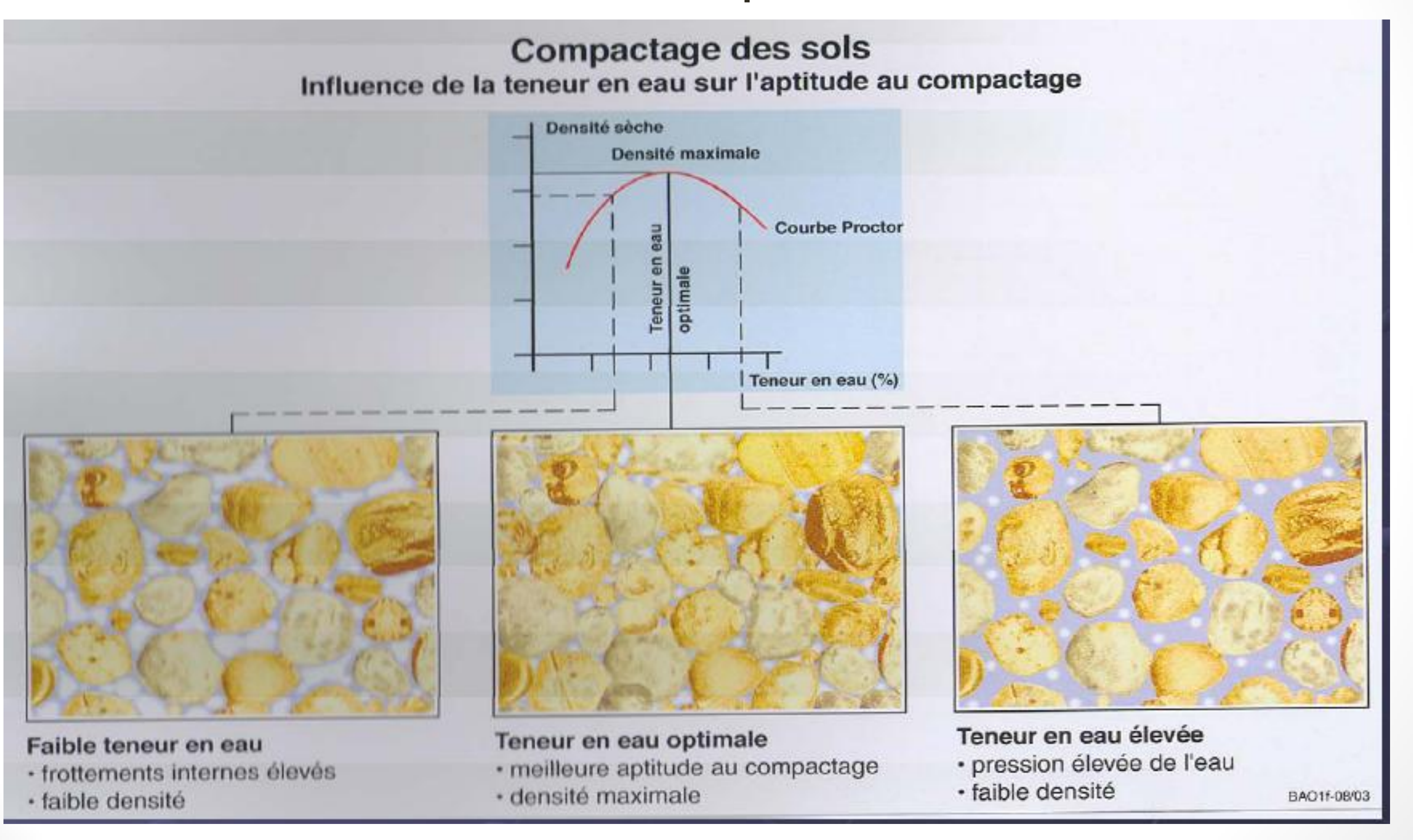
Etats hydriques	
Th : très humide	Pas de réemploi du sol
H : humide	Réemploi après aération
M : moyennement humide	Optimum
S : sec	Réemploi après arrosage
TS : très sec	Pas de réemploi du sol

Quels sont les paramètres pour caractériser cet état hydrique ?

Optimum Proctor Normal

FIF

Mode opératoire : annexe 4

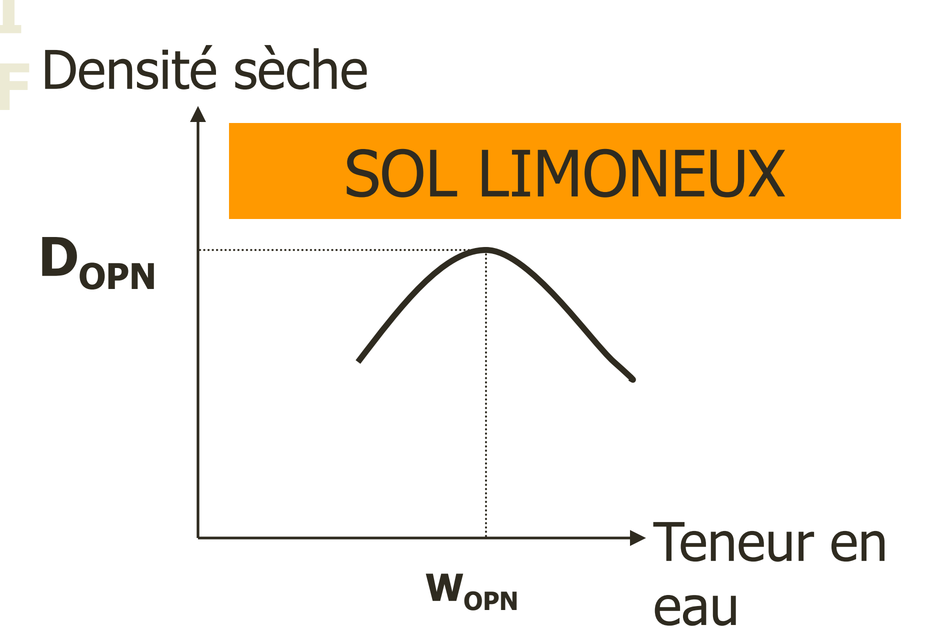


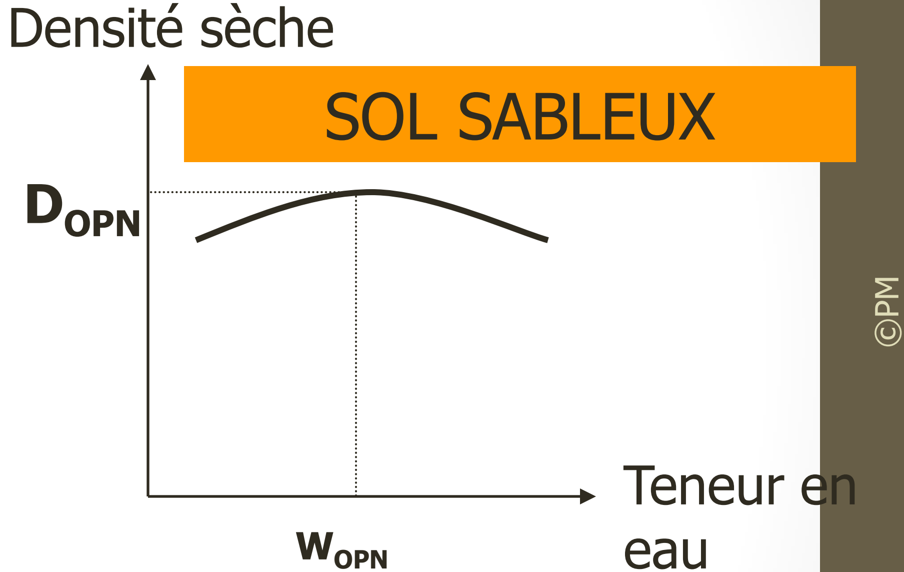
Graphiques Proctor normal

W_{OPN} : teneur en eau à l 'optimum Proctor

D_{OPN} : densité à l'Optimum Proctor

F I F





Ce sol a besoin de beaucoup d 'eau pour humidifier ses éléments. De plus, la courbe est pointue, sa plage de compacité est faible.

A l 'inverse, ce sol a besoin de moins d 'eau pour humidifier ses éléments et la courbe est plate.

Ce sol contient peu d'éléments fins mais il possède une grande latitude de compacité.

Autres utilisations

Photocopie n°1 sols A1

F I F

- Teneur en eau relative
  - Comparer la teneur en eau naturelle (W_N) de la fraction O/20 par rapport à celle de l'Optimum Proctor Normal (W_{OPN}).
- Compacité ou qualité du compactage (contrôle au panda)
  - Dc= 100 *densité sèche du matériau / $\mathbf{D_{OPN}}$
  - 2 valeurs de densification après compactage : Dc m (moyen) et Dc fc (fonds de couche)

	Dcm en % de Dopn	Dc fc en % de Dopn	Qualité
Couche de base	≥ 100	≥ 98	Q1
Couche de fondation	≥ 97	≥ 95	Q2
Couche de forme	≥ 98,5	≥ 96	Q3
Remblai	≥ 95	≥ 92	Q4

D532 Indice de consistance

F I F

- Position de la teneur en eau naturelle W_n par rapport aux limites d'Atterberg W_l et W_p
- $IC = (W_l – W_n) / (W_l – W_p)$

Photocopies 1 : sols A2

D533 Portance

- **La portance d'un sol est sa capacité à résister au** poinçonnement.
- Le pouvoir portant peut être défini par la capacité d 'un sol à supporter une charge sans se déformer.
- La portance peut se mesurer par le :
  - CBR : valeur du poinçonnement CBR sur une éprouvette de sol compacté à l'énergie proctor
  - Essai à la dynaplaque : mesure de la déflexion et calcul de l'indice portant immédiat
  - Poutre de Benkelman : mesure de la déflexion

Les 3 essais

F
I
F







Mode opératoire : annexe 4

Valeur de CBR

F
I
F

Photocopies 1 : sols A1

CBR	EV en Mpa	Plateforme
≤ 6	≤ 30	Inapte
De 6 à 10	De 30 à 50	PF1 déformable
De 10 à 24	De 50 à 120	PF2 Peu déformable
De 24 à 40	De 120 à 200	PF3 Très peu déformable
> 40	> 200	PF4

Ev > 30 Mpa pour une plateforme destinée à supporter une chaussée.

on peut estimer que : **Ev (Mpa) = 5 CBR**

D6) Réemploi des terres

F
I
F

- Exercice
- Classer le sol suivant :
- Dmax = 20 mm
- Tamisat à 80 **µm** = 15%
- Wl = 40% et Wp = 20%
- VBS = 2.5
- IPI = 6
- Réponse ? Quel est son caractère principal ?

Réponse

F
I
F

- Sol B6h
- Sables ou graves argileux à très argileux
- L'influence des fines est prépondérante
- Grande sensibilité à l'eau

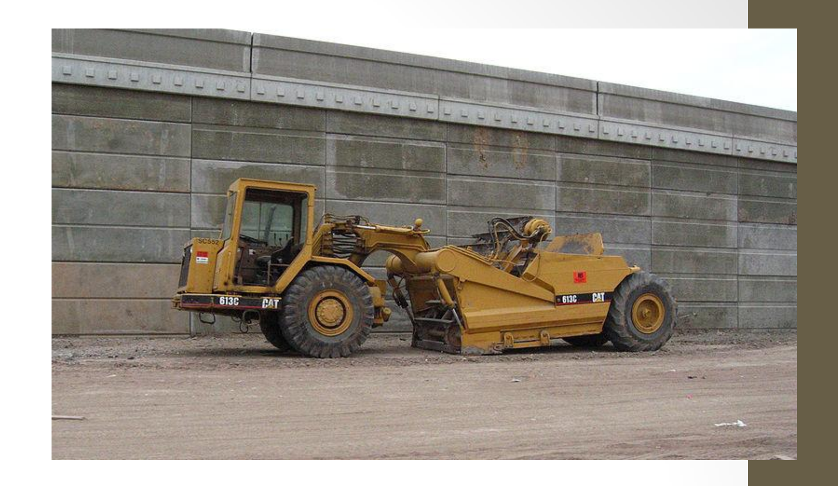
Conditions de mise en œuvre des matériaux en remblais

F
I
F

- Critères
  - Type de sol
  - Situation météorologique
  - 6 Conditions d’utilisation

Photocopie n°2

Le cas B6h



- Remblais
  - Si pluie non
  - Ni pluie ni évaporation
    - T traitement à la chaux pour diminuer la teneur en eau
    - C : compactage moyen
  - Si pas de pluie et évaporation importante
    - E : décapeuse (extraction en couches)
    - W : aération du matériau
    - R : épaisseur de couche de 20 cm à 30 cm
    - C : compactage moyen
    - H : hauteur de remblai < 10 m sinon tassement

Conditions de mise en œuvre des matériaux en couche de forme

F
I
F

- Critères
  - Type de sol et état du matériau lors de l'extraction
  - Situation météorologique
  - 4 Conditions d'utilisation

Photocopie n°2

Le cas B6h

F
I
F

- Couche de forme
  - Si pluie arrêter l'extraction
  - Si pas de pluie
    - T traitement mixte chaux + ciment
    - S protection de l'arase couche de forme par un enduit de cure
  - Avant traitement =PST n°1 et AR1
  - Après traitement sur 0,35 = PST n°4 et AR2
  - E couche de forme = de 0,35 à O,5 m et classe PF3

Module (Mpa)	30		50		120		200	
Classe de plate-forme		PF1		PF2		PF3		PF4

Traitement de l'arase

F
I
F

	Sols fins et argiles A1,A2,A3		Sables et graves B5, B6
Portance avant traitement	Non mesurable à 15 MPA	De 15 à 40 Mpa	Non mesurable à 30 MPA
Portance après traitement sur 35 cm	≥ 20 (pas suffisant)	≥ 30	≥ 30
Portance après traitement sur 50 cm	≥ 30	≥ 40	

Couche de forme

F
I
F

Portance de l'arase en MPA	30 à 40	40 à 60
Sols traités en place		
Sols A traité à la chaux sur place	35 cm → PF2	35 cm →PF3
Sols B traité aux liants sur place	50 cm → PF3	
GNT	Géotextile + 40 cm → PF2	Géotextile + 25 cm → PF2
GC		30cm → PF3

Module (Mpa)	30		50		120		200	
Classe de plate-forme		PF1		PF2		PF3		PF4

Les traitements de sols en place (annexe 5)

F
I
F

- **Le traitement** est une opération qui consiste à mélanger un sol naturel avec de la chaux et/ou un liant hydraulique. Il permet, en améliorant ses caractéristiques, d'utiliser un sol qui était impropre à l'état naturel.



Traitements à la chaux

- Le traitement à la chaux (vive) permet de diminuer très rapidement la teneur en eau et ainsi de rendre « portant » des sols non circulables à l'état naturel.
  Lorsque le sol est argileux, le traitement à la chaux (vive, éteinte ou lait de chaux) augmente à long terme ses caractéristiques mécaniques. Les dosages moyens en chaux sont de l'ordre de 2 à 5 %

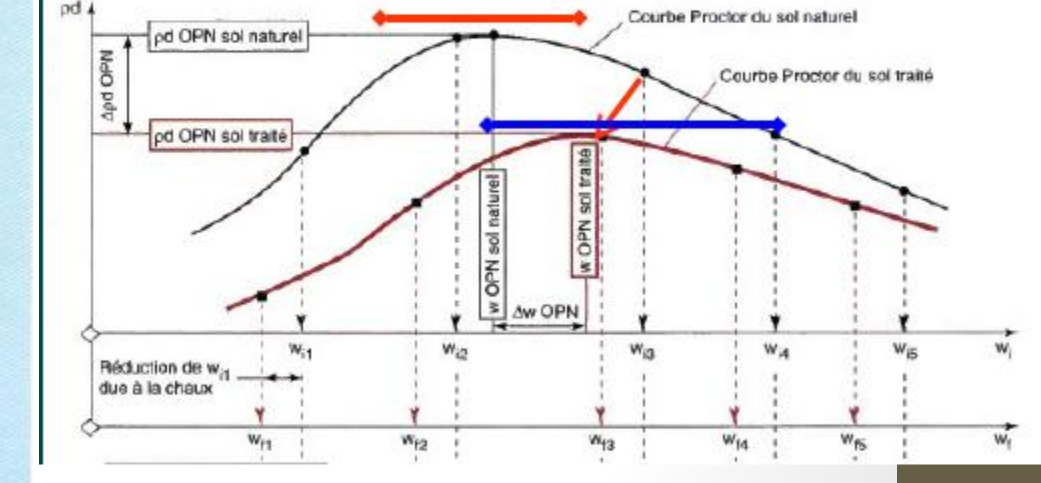
Effet du traitement à la chaux sur la consistance d'un sol

LP e n LL
IP
Avant traitement
Domaine solide
Domaine plastique
Domaine liquide
Teneur en eau croissante
(IP)'
Après traitement
e'n (LP)' (LL)'

Effet du traitement à la chaux sur la consistance d'un sol

1°) Assèchement : la teneur en eau du sol avant traitement e n est réduite en e'n.

2°) Floculation : le traitement à la chaux déplace vers la droite le domaine solide du sol. Ce dernier peut donc accepter une teneur en eau supérieure en restant solide. L'indice de plasticité Ip = LL – Lp (limite de liquidité-limite de plasticité) est réduit.



Traitements hydrauliques

F
I
F

- Les liants hydrauliques habituellement utilisés en traitement de sols sont les ciments ou autres mélanges. Le dosage moyen en liant hydraulique est de l'ordre de 4 à 8 %

Nature du sol	Dosage moyen en				
	Chaux		Traitement mixte		
			Chaux	Ciment	
Sols fins moyennement à fortement argileux	Chaux vive : 2 à 4 % Chaux éteinte : 3 à 5 %	Utilisés en remblai	-	-	
Sols plastiques	-		1 à 2 %	4 à 6 %	Utilisés en couches

D7) Les granulats

F
I
F

- Origine
- Classification
- Caractéristiques

Quel type de matériau faut-il utiliser pour confectionner une chaussée ?

F
I
F





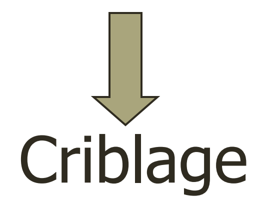






Exploitation de roches ou d 'alluvions



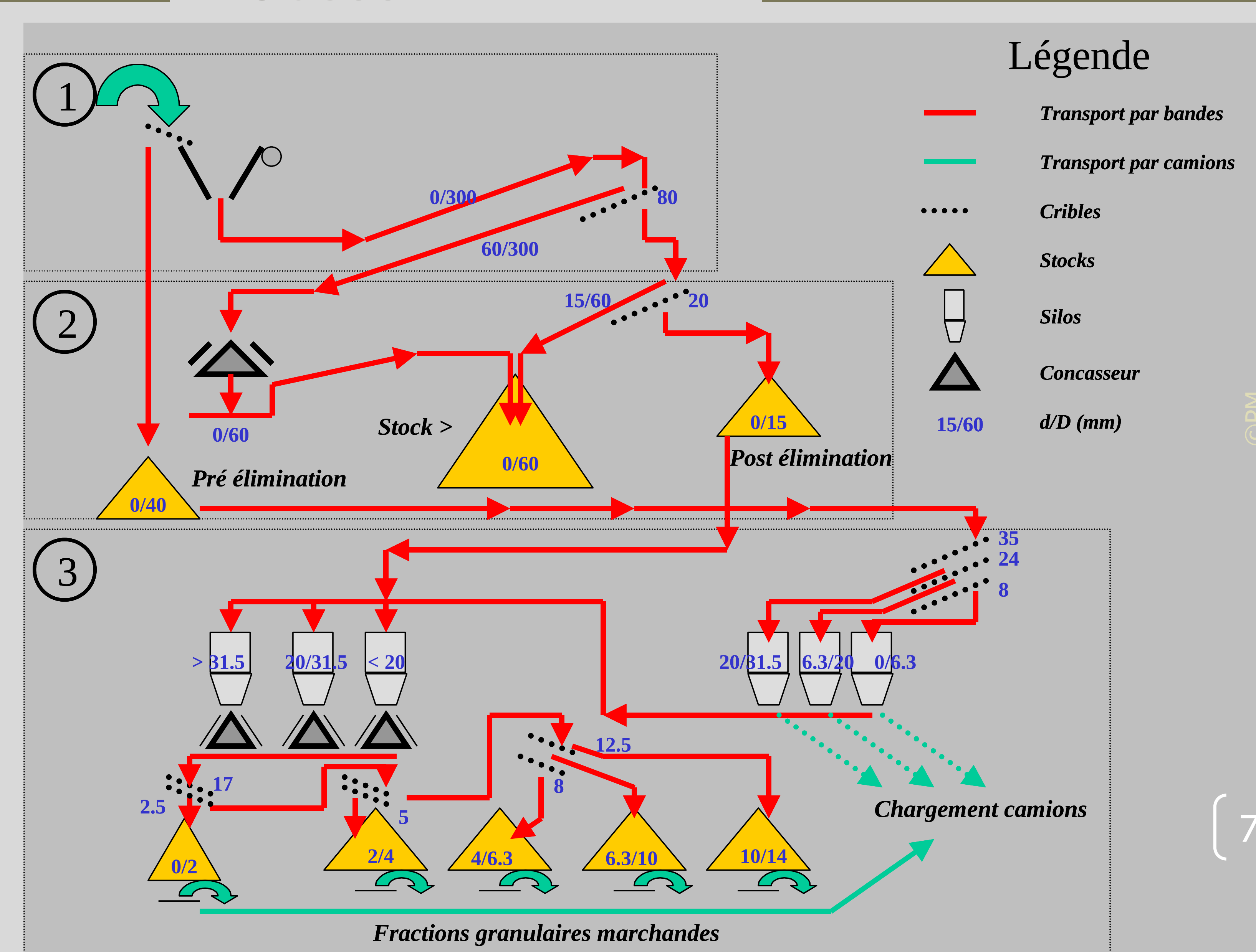


On obtient alors des granulats

F I F



Process



Légende
Transport par bandes
Transport par camions
Cribles
Stocks
Silos
Concasseur
15/60
d/D (mm)
1
2
3
0/300
80
60/300
15/60
20
0/60
Stock >
0/60
0/15
Post élimination
Pré élimination
0/40
35
24
8
> 31.5
20/31.5
< 20
20/31.5
6.3/20
0/6.3
12.5
17
2.5
8
5
0/2
2/4
4/6.3
6.3/10
10/14
Chargement camions
Fractions granulaires marchandes
©PM

Origine granulats en France

F
I
F

alluvionnaires
183 millions de tonnes

calcaires
102 millions de tonnes

éruptifs
122 millions de tonnes

Classification des matériaux

F
I
F

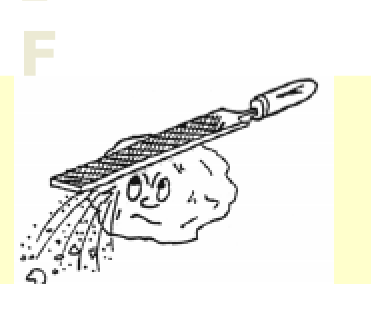
TERME	DEFINITION
FILLER	La plupart des grains passent au tamis de 0,063mm
FINES	Fraction granulométrique d'un granulat qui passe au tamis de 0,063mm
SABLE	Mélanges bitumineux et enduits: D ≤ 2 mm
	Matériaux traités et non traités 0/6,3mm
GRAVILLON	Mélanges bitumineux et enduits: d ≥ 2mm et D ≤ 45 mm
	Matériaux traités et non traités : d ≥ 1mm et D > 2 mm
GRAVE	Granulats formés d'1 mélange de gravillons et de sable *(peut provenir d'1 mélange ou d'1 fabrication directe)*

d : dimension théorique du plus petit élément en mm.

D : dimension théorique du plus gros élément en mm.

Classes de résistance mécanique LA et MDE

F
I
F



MDE

50
45
40
35
30
25
20
15
10

F
E
D
C
B

Calcaires

Alluvionnaires Silico- Calcaires

La dureté est fonction du % de calcaire

variation de **B** à **D**

Calcaires durs

éruptifs

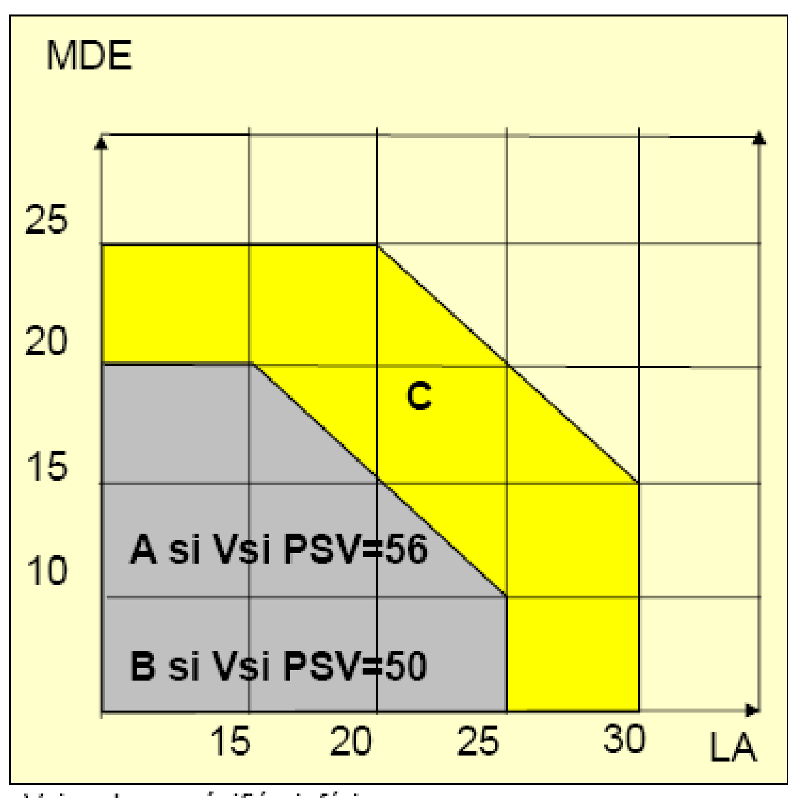
LA

15 20 25 30 35 40 45 50

©PM

PSV (polisched stone value)

F
I
F



Vsi=valeur spécifiée inférieure

Les calcaires durs ont un PSV maximum de l 'ordre de 46

En couche de liaison (art 7) ils sont catégorie C

En couche de roulement (art 8) ils ne sont pas admis

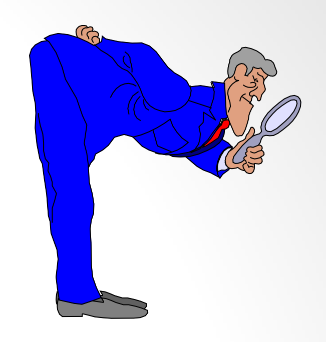
Les éruptifs peuvent être **A** ou **B** ou **C**

Mode opératoire : annexe 6

Usages	Caractéristiques	GNT	GTLH	Usages	BETON	ENDUIT sup.
Fondation	Intrinsèques des gravillons	E	E	Fondation	D	
	Fabrication des gravillons	IV	III		III	
	Fabrication des sables	c	b		a	
	Angularité des gravillons et des sables	Ang4	Ang4			
Base	Intrinsèques des gravillons	E	E	Roulement	C	C
	Fabrication des gravillons	IV	III		III	II
	Fabrication des sables	c	b		a	
	Angularité des gravillons et des sables	Ang 4	Ang4			Ang 2

SPECIFICATIONS D'USAGE POUR VOIRIE FORESTIERE

D8) les différents produits



F
I
F

A81 Les Tout venant et GNT graves non traités

A82 Les liants hydrocarbonés et leur mélange

A83 Les liants hydrauliques et leur mélange

A84 Les géotextiles

A85 Les enduits superficiels

D81 Matériaux non normés : Tout venant

FIF

- Front de carrière ou pieds de tir : attention à la teneur en fines et donc sensibles à l'eau

On peut citer dans le CCTP : Normes GTR / guide des terrassements routiers

Granularité : 0/100, 0/150, 0/250, 0/300

- Après scalpage ou concassage primaire on obtient alors du 80/250 par exemple

Utilisables pour la couche unique ou de forme ou de fondation

D81 Les GNT

Les GNT B sont de meilleure qualité (granulométrie et teneur en eau idéales), mais elles coûtent plus cher.

FIF

Elles peuvent être obtenues de deux manières soit :

- Obtenue en une seule fraction on obtient alors des GNT de type A
- En mélangeant dans une centrale à plusieurs trémies sables et gravillons selon une formule préétablie; on obtient des GNT de type B (anciennes GRH graves recomposées humidifiées)

Granularité : O/14 ; 0/20 ; 0/31,5 ; 0/63 (mm)

Utilisables pour la couche de forme avec géotextile, couches de fondation et base

D81 Coût du transport

F
I
F



D82 Les liants hydrocarbonés

F
I
F

Liants hydrocarbonés

- goudron
- bitume
- émulsion bitume

- 2 fonctions : maintenir une cohésion entre les grains d 'agrégat et assurer l 'imperméabilisation du matériau pour la couche de roulement
- Ils doivent donc se déformer sans cassure ni arrachement (cohésion) et adhérer fortement aux granulats (adhésivité).

Caractéristiques

F
I
F

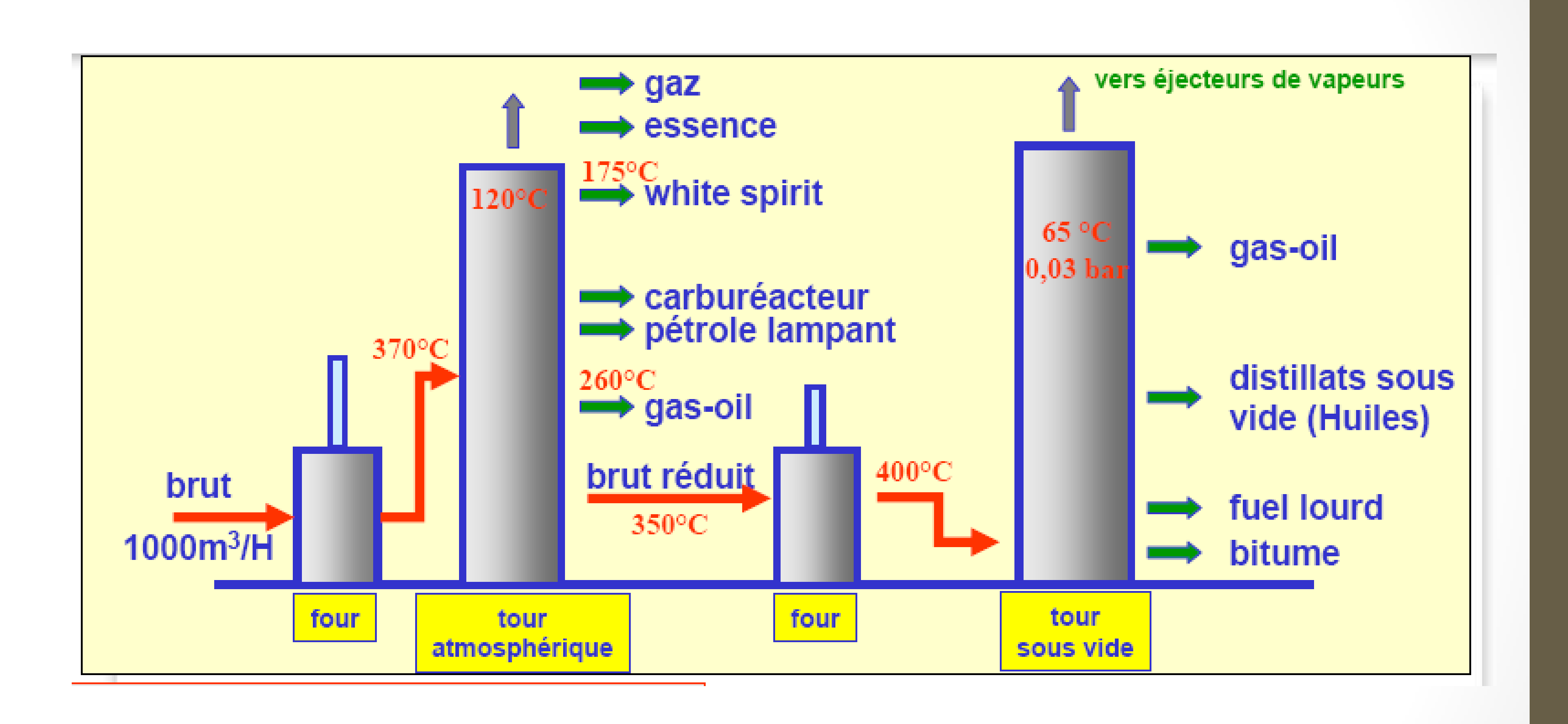
Types	***Origine***	***adhésivité***	***fluidité***	***vieillissement***
goudron	Distillation de la houille	bonne	Grande (mise en œuvre à 100°C)	Rapide
bitume	Distillation du pétrole	Moins bonne	Moins fluide (mise en œuvre à 180°c)	Lentement

Le goudron n 'est plus utilisé car son innocuité n 'est pas démontré.

©PM

Distillation sous vide

F
I
F



Les émulsions bitumes

F
I
F

- Pour augmenter la fluidité des bitumes, on peut les mélanger à de l ’eau (31 à 40%) et à un savon émulsif. L ’eau s ’évapore lorsque l ’émulsion est répandue, c ’est la rupture. Ces émulsions sont caractérisées par une faible viscosité (emploi à froid), une fragilité de la stabilité (stockage délicat) et leur vitesse de rupture.

Deux exemples

F
I
F

Couche de roulement
BBS 2 : béton bitumineux souple faible trafic
Normes C, III, a
Epaisseur : 3 à 6 cm
Granularité : 0/10
% liants : 5,8 à 6,2 %

Couches d'assise
GB : grave bitume
Normes D, III, a
Epaisseur : de 6 à 14 cm
Granularité : 0/14
% liants : 3,8 à 4,2 %

D83 Les liants hydrauliques

F
I
F

- ciments (calcaires argileux)
- laitiers (sous-produits de la fabrication de la fonte)
- Sont utilisés pour remplacer les liants bitumineux acides qui ont une mauvaise affinité avec les roches très siliceuses comme certains alluvions, les granites et les gneiss.
- Associés aux graves, ils permettent d 'augmenter leur cohésion

Un exemple de GTLH

F
I
F

- forme et assises

GC : grave ciment

Normes E, III, b

Epaisseur : 18 à 28 cm

Granularité : 0/14 et 0/20

% liants : 3 à 4 %

D84 Les géotextiles

F
I
F

- Définition
  - Matériaux tissés, non tissés ou tricotés, perméables, à base de polymères, utilisés dans le domaine de la géotechnique et du génie civil.



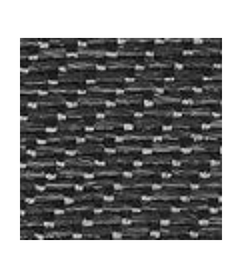


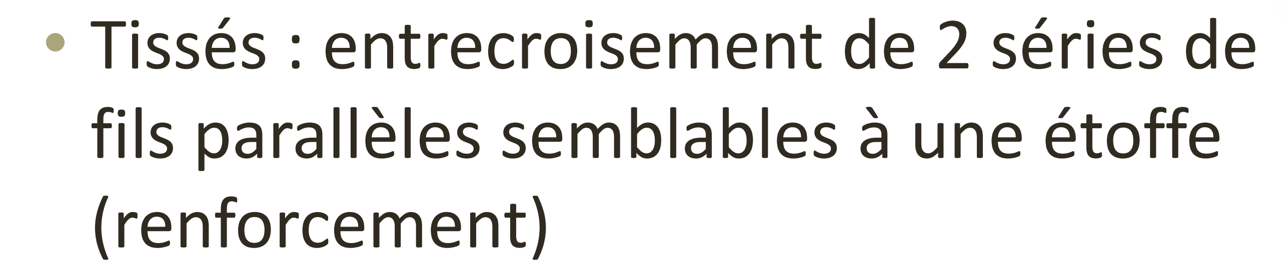
Les polymères

F
I
F

- Les produits naturels
  - Lin, coco, jute
- Le polypropylène
- Le polyéthylène
- Le polyamide
- Le polyester

Les types de géotextile





- Tissés : entrecroisement de 2 séries de fils parallèles semblables à une étoffe (renforcement)



- Non-tissés : nappes de textiles réalisées par l'assemblage de fibres réparties aléatoirement. (les plus utilisés)



- Tricotés : deus nappes de fils parallèles sont assemblées par un fil de liaison comme des filets (tuyaux de drainage)

Les six fonctions

F
I
F

- Mécaniques
  - Séparation (entre deux couches)
  - Renforcement (résistance à la traction)
  - Protection (des éléments poinçonnant)
- Hydrauliques
  - Filtration (perméable mais retient les fines)
  - Drainage (écoulement de l'eau)
- Lutte contre l'érosion (talus)

Choix du géotextile

6

Taille maximale de la pierre (mm)

250, 200, 150, 100, 50, 0

T71

T61

T51

T41

T31

0.5, 1, 2, 3, 4

Valeur CBR du sol de fondation (%)



Colonne1	masse surfacique	RT
	g/m²	kN/m
T31	115	8,1
T41	160	12,1
T51	210	16,1
T61	260	20,1
T71	320	25,1

D85 Les enduits superficiels

F
I
F

- Monocouche
- Monocouche double gravillonnage
- Bicouche
- Tricouche

Exemples

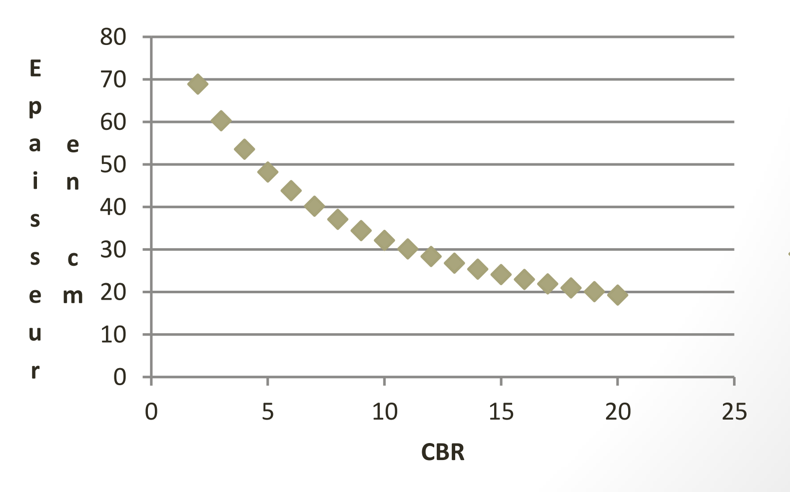
F
I
F

Types	liant	gravillons	utilisation
Monocouche	1 couche d'émulsion bitume à 69%	4/6 (8à9l/m²)	Remettre à neuf un multicouche
Monocouche double gravillonnage	1 couche d'émulsion bitume à 69%, 1,9kg/m²		Un peu plus résistant
Bicouche	2 couches d'émulsion bitume à 69 % 0,9kg/m² 1,2 kg/m²	6/10 (8à9l/m²) 2/4 (5à6l/m²)	Le plus utilisé
Tricouche	3 couches d'émulsion		Trop cher

D9) Les chaussées types

FIF

- <u>Utilisation de la formule de Peltier</u>
- e = 482,4/(CBR+5)
- e : épaisseur de la chaussée
- exemple : portance d 'un sol de 30 Mpa soit CBR= 6
- e = 43 cm

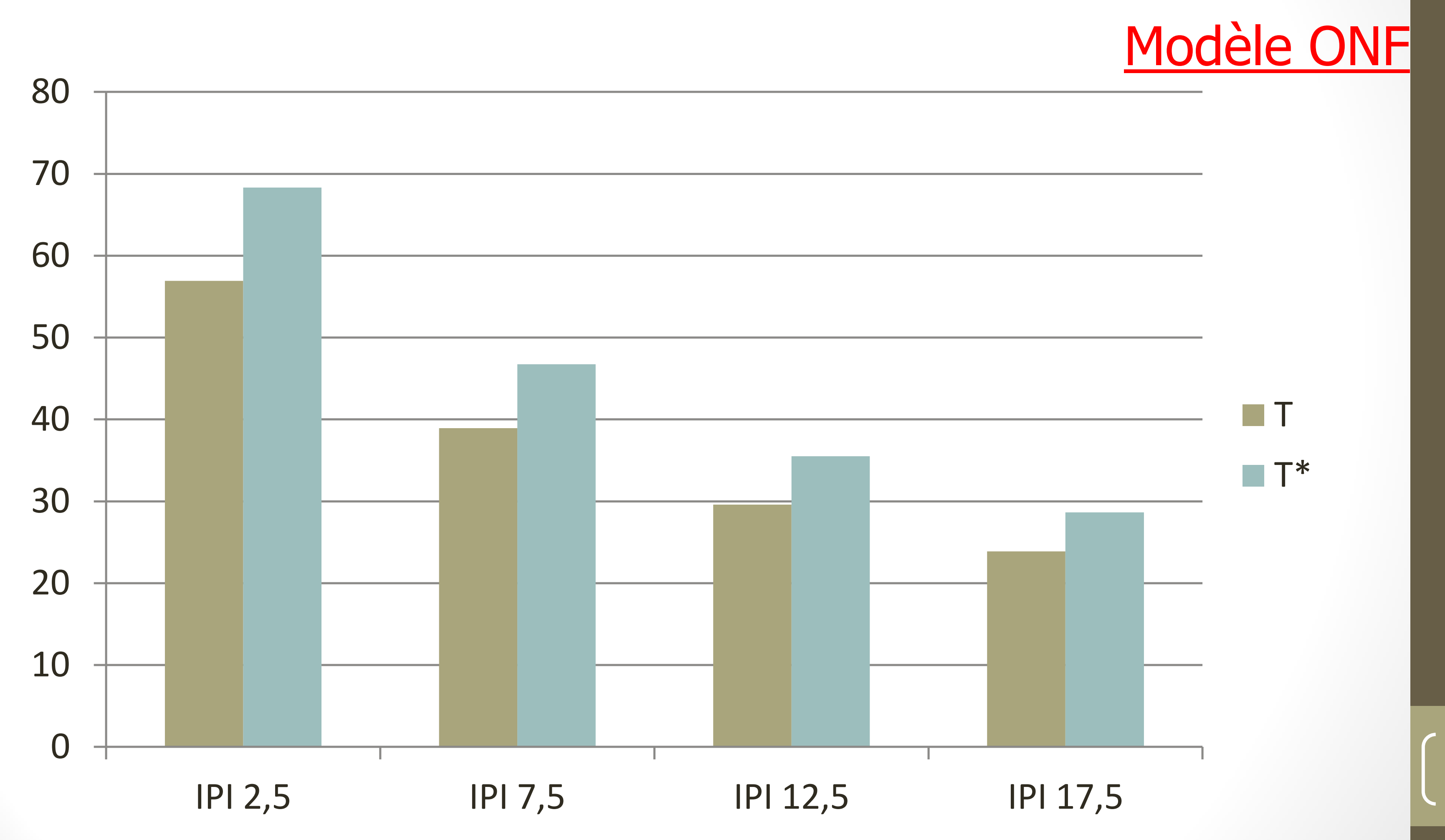


©PM

Epaisseur chaussée en cm en fonction de l'IPI et du trafic

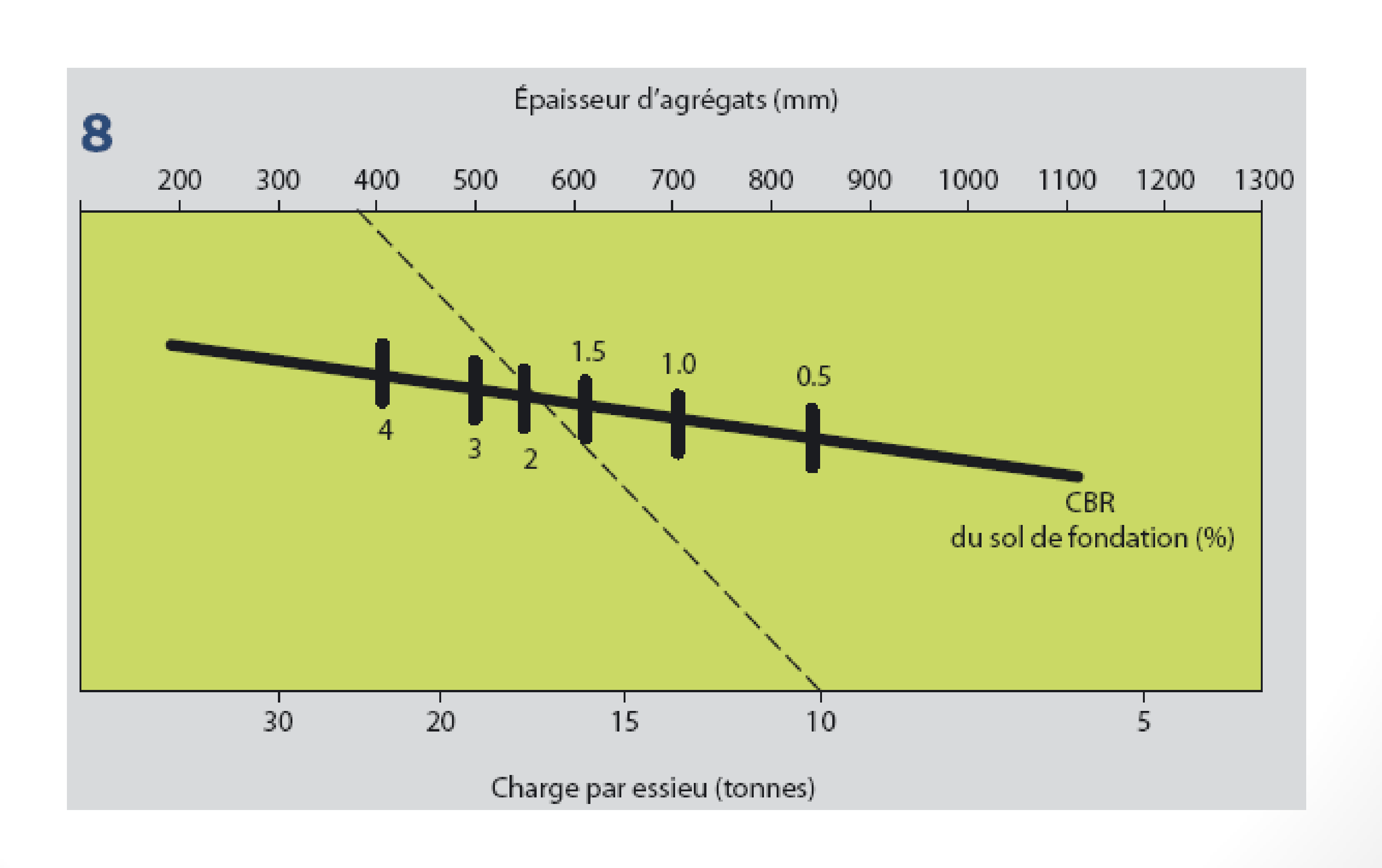
F
I
F

Modèle ONF



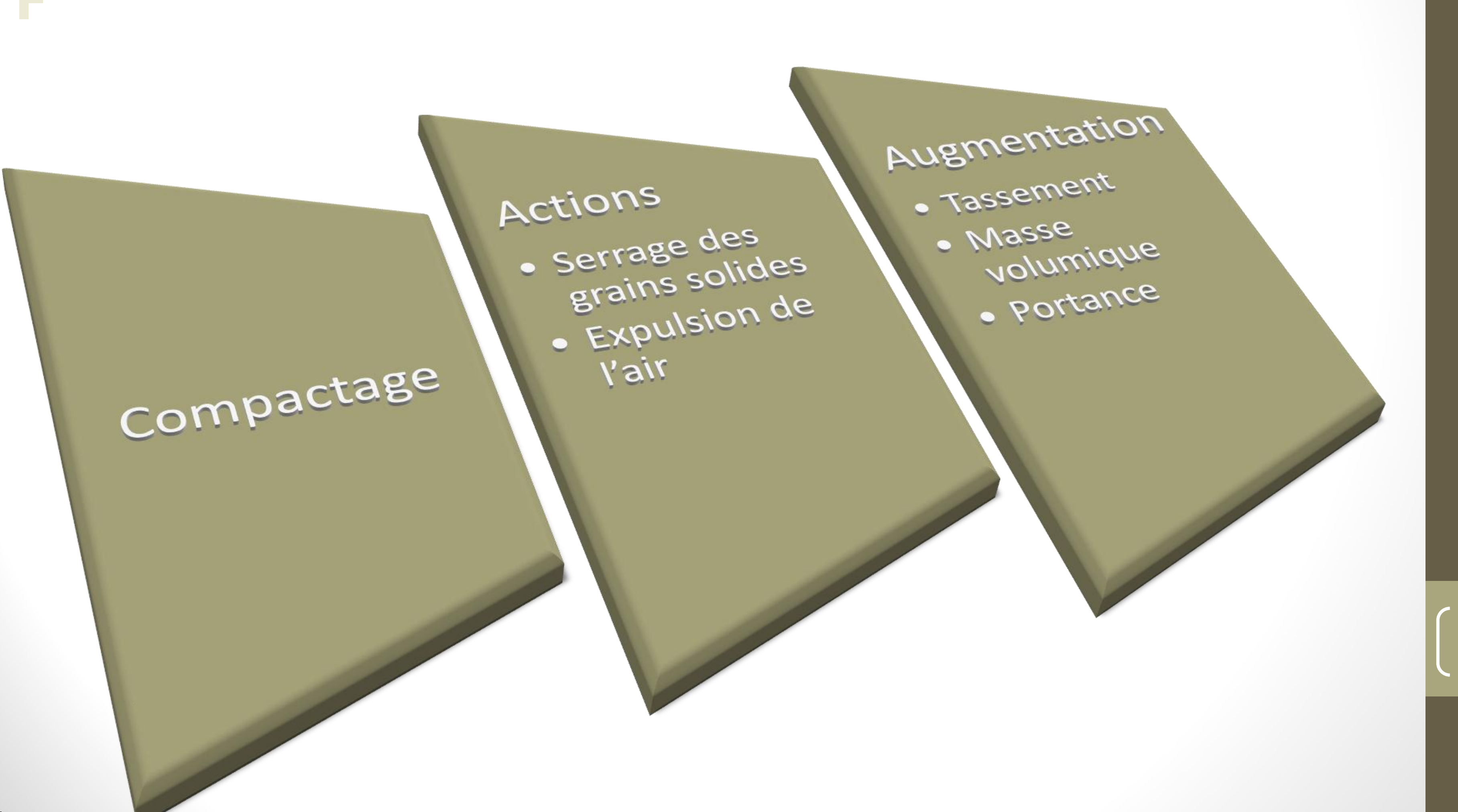
Epaisseur compactée sur géotextile

F
I
F



D10 Le compactage

F
I
F



Effet du compactage

F
I
F

Dc = masse volumique apparente
P = poids des solides
V = volume



P stable / V diminue / Dc augmente car Dc = P/V

Loi du logarithme

F
I
F

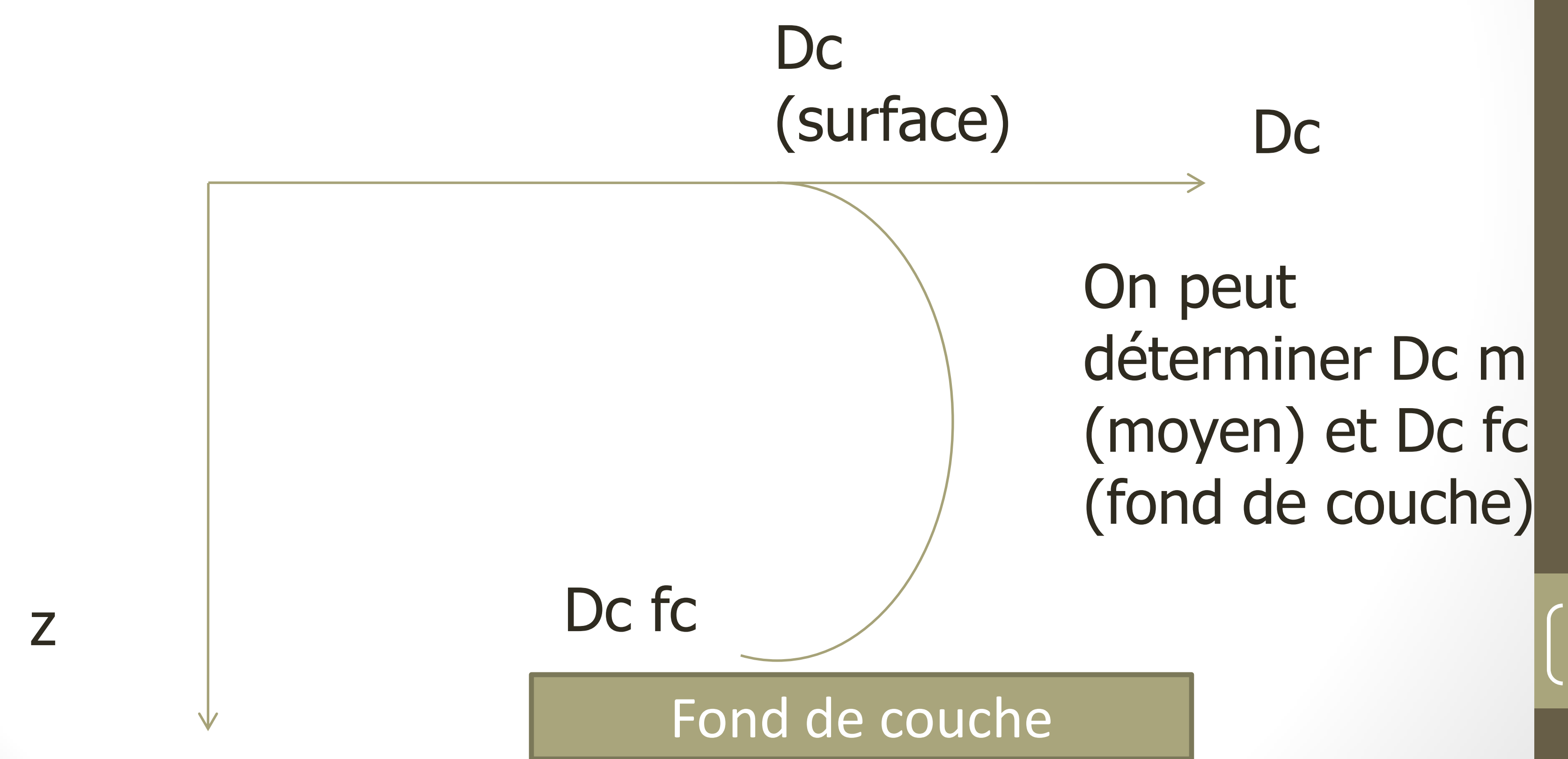
- Dc = a log n + b
  - Dc = masse volumique apparente
  - a = pente de la droite
  - n= nombre de passes
  - b = ordonnée à l'origine
- On détermine Dopt en laboratoire et on calcule le nombre de passes
- Fonction log = les dernières passes sont €

Loi du gradient

F
I
F

[redacted]

- Dc = f (Z)
  - z = profondeur



Tolérance

F
I
F

- Compacité ou qualité du compactage (contrôle au panda = annexe 4)
  - Dc= 100 *densité sèche du matériau / $\mathbf{D_{OPN}}$
  - 2 valeurs de densification après compactage : Dc m (moyen) et Dc fc (fonds de couche)

	Dcm en % de Dopn	Dc fc en % de Dopn	Qualité
Couche de base	≥ 100	≥ 98	Q1
Couche de fondation	≥ 97	≥ 95	Q2
Couche de forme	≥ 98,5	≥ 96	Q3
Remblai	≥ 95	≥ 92	Q4

Mode opératoire

F
I
F

- Essai au laboratoire
  - Proctor
- Calcul du nombre de passes en fonction de l'engin et du type de couche
- Contrôle
  - Panda
- OU CONTRÔLE CONTINU SUR COMPACTEUR

Engins

F
I
F

- Automobile monocylindre vibrant lisse ou à pieds dameurs (remblais argileux)





http://france.cat.com/cda/layout?m=256261&x=11

Cas du projet 2010

F
I
F

- Passant à 0,08 : 11,7%
- VBs : 0,18
- IPI : 42
- Dopn : 1,77 t/m3 à W% : 13,7%

Questions :

Type de sol, comportement, portance de l'arase, couche de forme ?

Chaussée : épaisseur, structure

Compactage : contrôle

F
I
F



Les normes européennes des granulats

- Caractéristiques
- Intrinsèques des gravillons

F
I
F

Caractéristiques

FTP : fiche technique produit

CARACTERISTIQUES	ARTICLE 7 (Fondation, base et liaison)		ARTICLE 8 (Roulement en liant bitumineux)	
	ESSAIS	CODES	ESSAIS	CODES
Intrinsèques des gravillons et de la fraction gravillon des graves	LA MDE	De B à F	LA MDE PSV	De A à C
De friabilité pour la fraction sable			Friabilité des sables	
De fabrication des gravillons	Granularité Teneur en fines Aplatissement	De III à V	Granularité Teneur en fines Aplatissement	De I à III
De fabrication des sables et graves	Granularité Propreté	De a à d	Granularité Propreté	a
D'Angularité des gravillons et des sables alluvionnaires et marins	Analyse visuelle Vitesse d'écoulement	De Ang 1 à Ang 4	Analyse visuelle Vitesse d'écoulement	
De sensibilité au gel	Essai d'absorption d'eau		Essai d'absorption d'eau	
De masse volumique des gravillons sables et graves	Masse volumique des granulats préséchés	Valeur sur FTP	Masse volumique des granulats préséchés	Valeur sur FTP
Des Fillers des sables et graves pour enrobés d'assise et de liaison	Granularité, masse volumique, MB, porosité Rigden, ΔT bille et anneau		Granularité, masse volumique, MB, porosité Rigden, ΔT bille et anneau	
Complémentaires pour recyclés	Teneur en sulfates	De Ssa à Ssc		
Complémentaires pour granulats de laitier	Désintégration volumique et des silicates biocalciques et de fer		Désintégration volumique et des silicates biocalciques et de fer	

F
I
F

CARACTERISTIQUES	ARTICLE 7 (Fondation, base et liaison)		ARTICLE 8 (Roulement en liant bitumineux)	
	ESSAIS	CODES	ESSAIS	CODES
Intrinsèques des gravillons et de la fraction gravillon des graves	LA MDE	De B à F	LA MDE PSV	De A à C

LA : Los Angeles déjà vu
MDE : Micro-Deval en présence d'eau déjà vu
PSV : polissage accéléré : polissage des matériaux et mesure de la rugosité
Plus le PSV est élevé, meilleur il est !
45<PSV<65 (annexe 6)

Assises et r

INTRI

Normes européennes

F
I
F

Note du CFTR n°10 (2005)

XP P 18-545 - ARTICLE 7 : CHAUSSEES COUCHES DE BASE , LIAISON ET FONDATION	XP P 18-545 - ARTICLE 8 : CHAUSSEES COUCHES DE ROULEMENT

Catégories NF EN	Spécifications complémentaires de la norme XP P 18-545

CARACTERISTIQUES INTRINSEQUES

Codes		Los Angeles	Micro-Deval	Polissage accéléré	Codes	
-		LA_{20}	M_{DE} 15	PSV 56	Anc	A [1]
B [1]	Bnc			PSV 50	Bnc	B [1]
C [1]	Cnc	LA_{25}	M_{DE} 20		Cnc	C [1]
D [1]	Dnc	LA_{30}	M_{DE} 25	-	-	
E [1]	Enc	LA_{40}	M_{DE} 35			

[1] Une compensation maximale de 5 points est possible entre les valeurs de LA et de M_{DE}

Voirie forestière pour des GNT

Base, liaison, fondation = code E
LA_{40} soit LA ≤ 40 et MDE_{35} soit MDE ≤ 35

Roulement = Code C
PSV50 soit PSV ≥ 50

Caractéristiques de fabrication

F I F

• **Fuseau de spécification:**

- limité par Li et Ls (spécifiés dans la norme)

•Régularité de la production : **Fuseau de régularité**

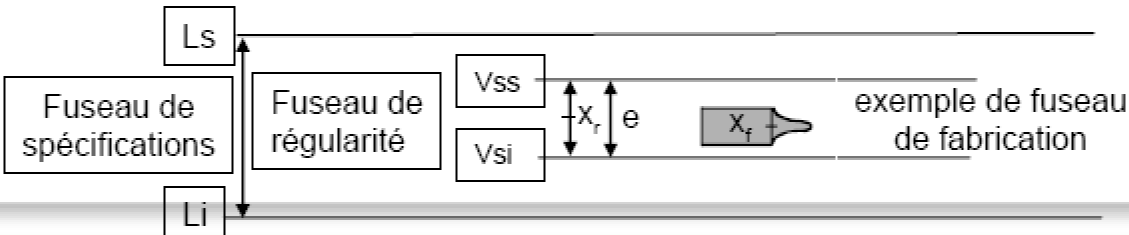
- limité par Vsi et Vss, Vss - Vsi = e (étendue donnée par la norme)
- le carrier se fixe Vss et Vsi et s'engage dessus

•**Fuseau de fabrication**

- Caractérisé par Xf et sf — Xf: moyenne de fabrication ; sf: écart type

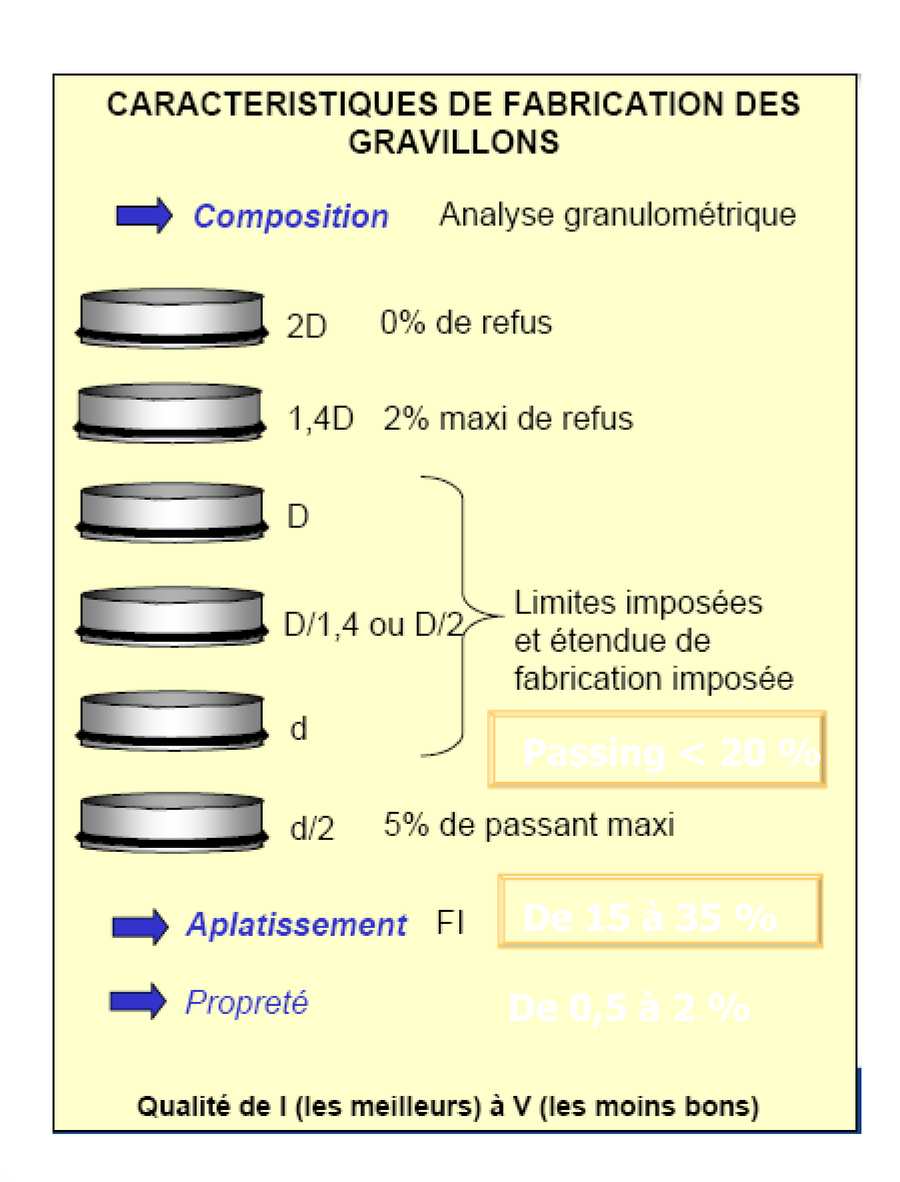
•**Domaine d'acceptation:**

- Moins de 15 résultats: tous les x_i à l'intérieur du fuseau de régularité
- Plus de 15 résultats
  - Chacun des résultats doit être compris entre les valeurs Vss et Vsi +- l'incertitude des essais
  - Le fuseau de fabrication doit être contenu dans le fuseau de régularité.



Gravillons

F
I
F



Gravillons

F
I
F

Granulats pour chaussée : fondation, base et liaison

<table>
<tr><th colspan="8">Granularité</th><th rowspan="2">Teneur en fines</th><th rowspan="2">FI</th></tr>
<tr><th>code</th><th>2*D</th><th>1.4*D</th><th>D</th><th>D/1.4
(2)</th><th>D/2
(3)</th><th>d</th><th>d/2</th></tr>
<tr><td>III</td><td rowspan="2">Vsi
100</td><td rowspan="2">Vsi 98</td><td>Ls 99
Li 85 (1)
e10 (± 5)</td><td rowspan="2">Ls 80
Li 25
e 30(±15)
ou
Ls 70
Li 20
e 30(±15)</td><td rowspan="2">Ls 70
Li 20
e 35 (±17.5)</td><td>Ls 20
Li 0
e 10 (± 5)</td><td>Vss 5</td><td>Vss 1</td><td>Vss 25
(4)</td></tr>
<tr><td>IV</td><td>Ls 99
Li 80
e10 (± 5)</td><td>Ls 20
Li 0
e 15 (± 7.5)</td><td>Vss 5</td><td>Vss 2</td><td>Vss 35</td></tr>
<tr><td>V</td><td colspan="9">FTP renseignées</td></tr>
</table>

(1) : Li= 80 si D ≤ 2*d ou si utilisation en GTLH ou GNT
(2) : si 2 ≤ D/d <4
(3) : si D/d ≥ 4
(4) : Vss35 pour usage en GTLH ou GNT

L : fuseau de spécification
Vs : fuseau de régularité / e=Vss-Vsi

Gravillons

F
I
F

Granulats pour chaussée: Roulement

Code	Granularité						Teneur en fines	FI
	2*D	1.4*D	D	D/1.4 (2)	d	d/2		
I							Vss 0.5	Vss15 (5)
II	Vsi 100	Vsi 98	Ls 99 Li 85(1) e10 (± 5)	Ls 80 Li 25 e 30(±5) ou Ls 70 Li 20 e 30(±5)	Ls 20 (3) Li 0 e 10 (± 5)	Vss 5 (4)	Vss 0.5	Vss20 (5)
III							Vss 1	Vss25

(1): sur les gravillons de classe granulaire serrés d/D où D ≤ 2*d, le passant à D de la catégorie G_c 85/20 est abaissé à 80 %

(2): si 2 ≤ D/d < 4

(3) : Ls 15 si emploi en formule discontinue ; la valeur Ls =15 doit être indiquée sur la FTP

(4) : Vss 2 si emploi en formule discontinue ; la valeur Vss =2 doit être indiquée sur la FTP

(5) : Vss est majorée de 5 si D ≤ 6.3 mm.

Normes européennes

F
I
F

Note du CFTR n°10 (2005)

XP P 18-545 - ARTICLE 7 : CHAUSSEES COUCHES DE BASE , LIAISON ET FONDATION	XP P 18-545 - ARTICLE 8 : CHAUSSEES COUCHES DE ROULEMENT

Catégories NF EN	Spécifications complémentaires de la norme XP P 18-545

CARACTERISTIQUES DE FABRICATION DES GRAVILLONS

Codes	Granularité	à D et d	à D/1,4 ou D/2 NF EN 13242	à D/1,4 ou D/2 NF EN 13043	Propreté	Aplatissement	Codes
-	$G_C85/20$ (1)	e 10		$G_{25/15}$	$f_{0,5}$	FI_{15} (6)	I
				ou $G_{20/15}$	$f_{0,5}$ (3)	FI_{20} (7)	II
III	$G_C85/20$ (2)		$GT_C25/15$ ou $GT_C20/15$ ou $GT_C20/17,5$		f_1 (4)	FI_{25} (8)(9)	III
IV	$G_C80/20$	e 15		-	f_2 (5)	FI_{35}	-
V	Autres catégories de la normes NF EN 13242 : FTP renseignée						

(1) $G_C85/15$ si emploi en formule discontinue	(3) f_1 si MB_F10 ; (4) f_2 si MB_F10	(6) FI_{20} si D ≤ 6,3	(7) FI_{25} si D ≤ 6,3 ; (8) FI_{30} si D ≤ 6,3	Notes NF EN 13043
(2) $G_C80/20$ pour GNT ou GTLH	(4) f_2 pour GNT ou GTLH	(5) f_4 si MB_F10	(9) FI_{35} pour GNT et GTLH	Notes NF EN 13242

©PM

Voirie forestière pour des GNT

Base, liaison et fondation = code IV

Gc80/20 (limite inférieure D à limite sup d)

Propreté f2 = % à 0,063mm ≤ 2%

Aplatissement FI 35 = % d'aplatis ≤ 35 %

Roulement = code III

Gc85/20 – f_1 et FI_{25}

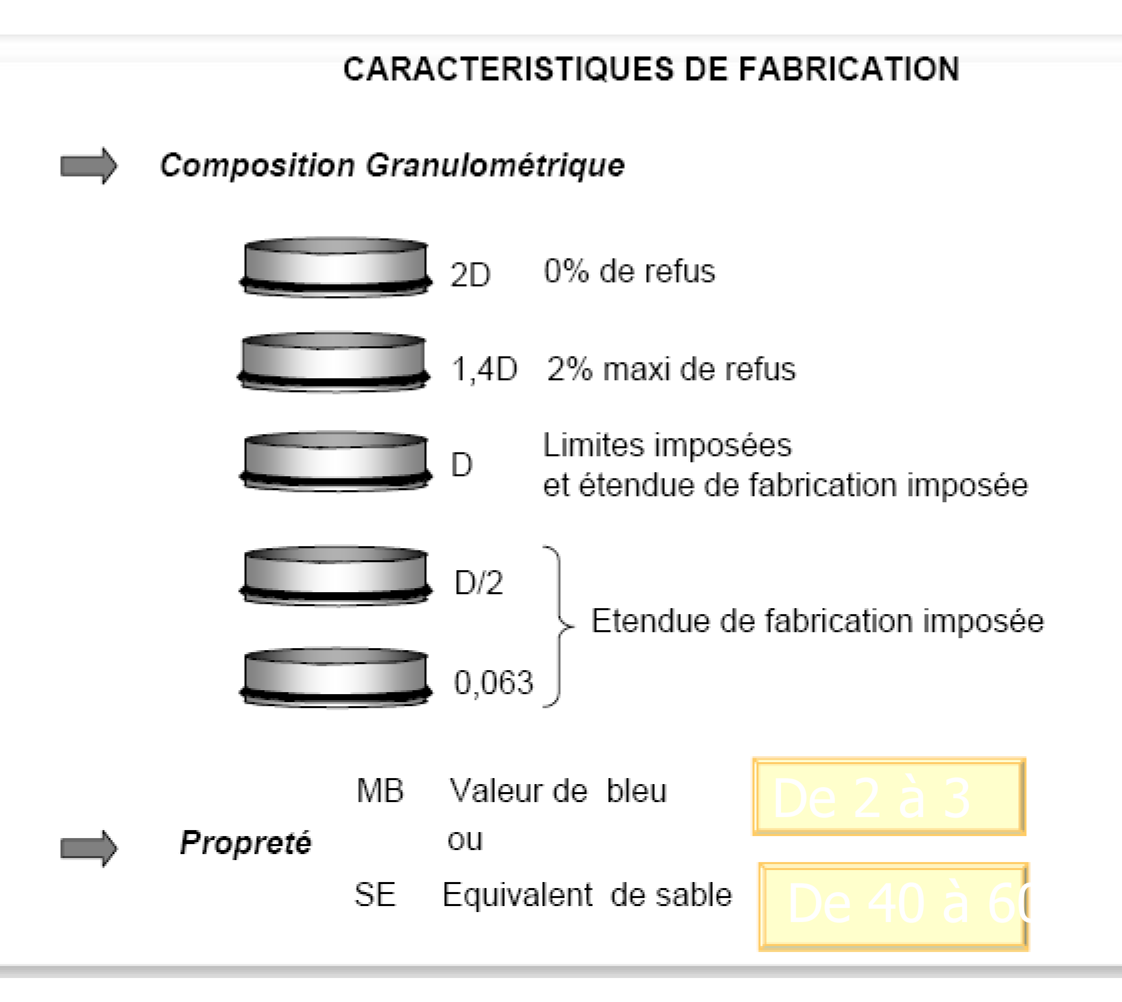
Fabrication des graves et sables

CARACTERISTIQUES	ARTICLE 7 (Fondation, base et liaison)		ARTICLE 8 (Roulement en liant bitumineux)	
	ESSAIS	CODES	ESSAIS	CODES
De fabrication des sables et graves	Granularité Propreté	De a à d	Granularité Propreté	a

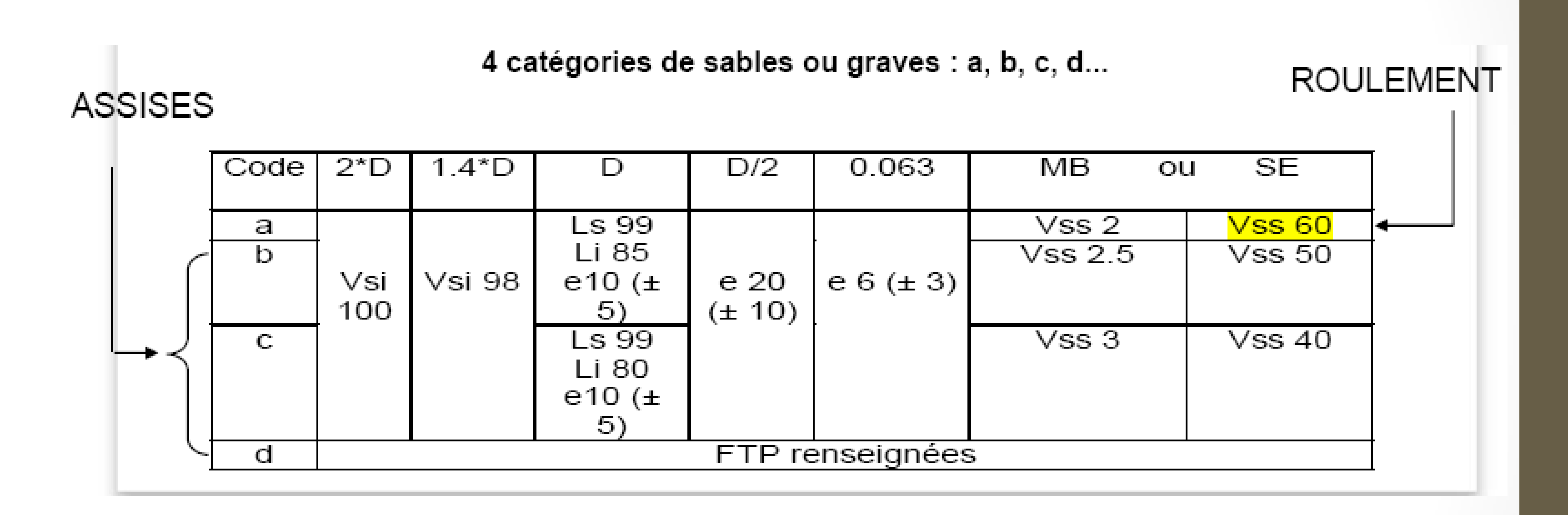
Granularité : fuseaux
Propreté :
VBS ou MB : valeur au bleu
SE: équivalent sable = floculation des argiles
Sable pur = 100
40<SE<60 (annexe 2)

Graves et sables

F
I
F



Graves et sables



4 catégories de sables ou graves : a, b, c, d...

Code	2*D	1.4*D	D	D/2	0.063	MB	ou SE
a	Vsi 100	Vsi 98	Ls 99 Li 85 e10 (± 5)	e 20 (± 10)	e 6 (± 3)	Vss 2	Vss 60
b						Vss 2.5	Vss 50
c			Ls 99 Li 80 e10 (± 5)			Vss 3	Vss 40
d	FTP renseignées						

Normes européennes

F
I
F

Note du CFTR n°10 (2005)

XP P 18-545 - ARTICLE 7 : CHAUSSEES COUCHES DE BASE , LIAISON ET FONDATION	XP P 18-545 - ARTICLE 8 : CHAUSSEES COUCHES DE ROULEMENT

Catégories NF EN	Spécifications complémentaires de la norme XP P 18-545

CARACTERISTIQUES DE FABRICATION DES SABLES ET GRAVES

Codes	Granularité		Propreté des éléments < 2 mm		Code
	NF EN 13242	NF EN 13043	SE ou	MB	
a	-	G_F85 [3]	SE_{60}	MB_2 [4]	a
b	G_F85 GT_F10 [1]	$G_{TC}10$	SE_{50}	$MB_{2,5}$	-
c	G_F80 GT_F10 [2]	-	SE_{40}	MB_3	
d	Autres catégories de la norme NF EN 13242 : FTP renseignée				
Notes NF EN 13242	[1] G_A85 et GT_A10 si D > 6,3 mm [2] G_A80 et GT_A10 si D > 6,3 mm	[3] G_A85 si 2 < D ≤ 6,3 mm [4] Implique l'appartenance à la catégorie MB_F10			Notes NF EN 13043

Voirie forestière pour des GNT

Base, liaison et fondation = code c
G_F80 (limite inférieure D)
Propreté SE40 : équivalent sable ≥ 40
MB : valeur de bleu ≤ 3

Roulement = code a
G_F85– SE_{60} et MB_2

Angularité des gravillons et des sables alluvionnaires et marins

F
I
F

CARACTERISTIQUES	ARTICLE 7 (Fondation, base et liaison)		ARTICLE 8 (Roulement en liant bitumineux)	
	ESSAIS	CODES	ESSAIS	CODES
D'Angularité des gravillons et des sables alluvionnaires et marins	Analyse visuelle Vitesse d'écoulement	De Ang 1 à Ang 4	Analyse visuelle Vitesse d'écoulement	

L'analyse visuelle consiste à déterminer la proportion des grains concassés, semi-concassés et roulés.

La vitesse d'écoulement : l'essai consiste à mesurer le temps d'écoulement d'un volume standart à travers un orifice calibré dans un couloir incliné et vibrant. Plus le temps est long, meilleur est l'angularité.

Degré de concassage

F
I
F

Code des granulats alluvionnaires	Catégorie EN	Pourcentage en masse de		
		grains entièrement concassés	grains entièrement concassés ou semi-concassés	grains entièrement roulés
Concassés	$C_{100/0}$	90 - 100	100	0
	$C_{95/1}$	30 - 100	95 – 100	0 – 1
	$C_{90/1}$	30 - 100	90 – 100	0 – 1
	$C_{90/3}$	30 - 100	90 - 100	0 - 3
Semi-concassés	$C_{50/10}$	-	50 - 100	0 - 10
	$C_{50/30}$	-	50 - 100	0 - 30
Semi-roulés	$C_{-/50}$	-	-	0 - 50
	$C_{-/70}$	-	-	0 - 70
Roulés	$C_{Déclaré}$	-	-	Valeur déclarée >70

Normes européennes

F
I
F

Note du CFTR n°10 (2005)

XP P 18-545 - ARTICLE 7 : CHAUSSEES COUCHES DE BASE , LIAISON ET FONDATION	XP P 18-545 - ARTICLE 8 : CHAUSSEES COUCHES DE ROULEMENT

Catégories NF EN	Spécifications complémentaires de la norme XP P 18-545

ANGULARITE DES GRAVILLONS ET DES SABLES D'EXTRACTION ALLUVIONNAIRE OU MARINE

Codes	Gravillons			Sables et graves	Codes
	Pourcentage de surfaces cassées (NF EN 933-5)		Essai d'écoulement (NF EN 933-6)		
	NF EN 13242	NF EN 13043	Alternatif [1]	NF EN 13043 [2]	
Ang 1	-	$C_{95/1}$	E_{CG} 110	E_{CS} 38 [3]	Ang 1
Ang 2	$C_{90/3}$	$C_{90/1}$	E_{CG} 105	E_{CS} 35	Ang 2
Ang 3	$C_{50/10}$	$C_{50/10}$	E_{CG} 95	E_{CS} 30	Ang 3
Ang 4	$C_{NR/50}$	-	E_{CG} 85	E_{CS} déclaré	Ang 4

[1] Sur la fraction granulaire 4/6.3, 6.3/10, 4/10 ou 10/14 la plus représentée
[2] Sur la fraction 0/2 des sables et graves pour enrobés
[3] E_{CS} 35 sous réserve d'une vérification à l'essai d'orniérage

Base, liaison et fondation = code Ang4
$C_{NR/50}$ (pas plus de 50% roulés)

Roulement = code Ang1
$C_{95/1}$ (pas plus de 1% de roulés)
E_{CG} 110 et E_{CS} 38

F
I
F

Résistance au gel / dégel

- Un échantillon de granulat 8/16 est imbibé dans l'eau pendant 24 heures, puis soumis à 10 cycles de gel et dégel. La résistance au gel est appréciée par leur perte de masse.

Normes européennes	Catégorie	Résultats en %
Béton	F1	$F \leq 1$
GNT + GTLH + enduits…	F2	$1 < F \leq 2$

Annexes

FIF

- 1 / Analyse granulométrique
- 2/ Argilosité
  - IP : Indice de plasticité
  - VBS ou MB (valeurs au bleu)
  - SE : équivalent sable
- 3 / Comportement dynamique
  - Los angeles LA, Micro Deval MDE et friabilité des sables FS
- 4/ Paramètres d'état
  - Etat hydrique
  - Optimum proctor
  - Portance (IPI)
- 5/ Traitement des sols à la chaux ou aux liants hydrauliques
- 6/ Caractéristiques intrinsèques
  - PSV polissage accéléré
- 7/ Fabrication
  - Aplatissement

1 Analyse granulométrique

F
I
F

Pesée de l 'échantillon sec

Pesée du passing pour un tamis

Calcul du rapport :

$$\frac{\text{Poids sec du passing}}{\text{Poids sec de l 'échantillon}}$$



Exemple :

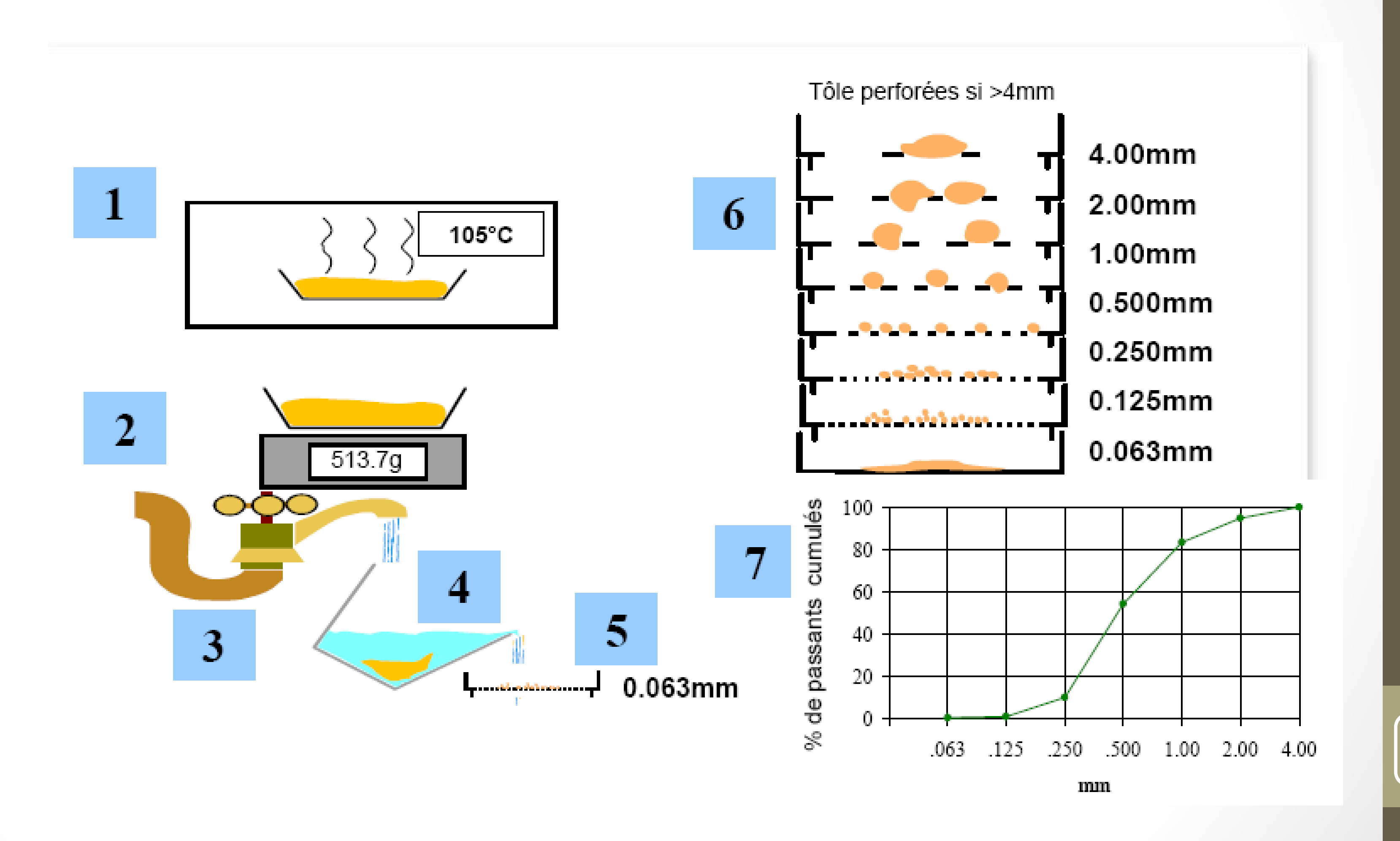
Tamis à tôle perforée à trous carrés de 5 mm

rapport = 84%



Analyse granulométrique

F
I
F



2 Indice de plasticité Mode opératoire

F
I
F



Echantillon de mortier auquel on fait varier la teneur en eau

- Limites de liquidité : on sépare le mortier avec un poinçon en forme de V d ’une largeur de 1 cm; tant que l ’échantillon est capable de se refermer après une série de 25 chocs normalisés, le mortier est considéré à l ’état liquide.
- Limites de plasticité : on roule l ’échantillon en un cylindre de 3 mm, tant que le cylindre ne se casse pas il est considéré comme plastique

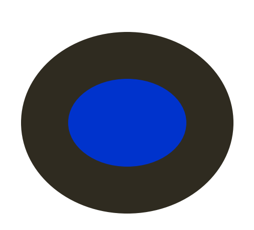


VBS : Mode opératoire

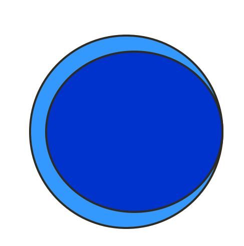
Mélange = 30 gr de fraction 0/5 mm + 200 ml d 'eau distillée + agitation

Rajout successif de 5 cm3 puis de 2 cm3 de BM

Test sur papier filtre (test de la tâche)



Test négatif



Test positif

VB = V/f

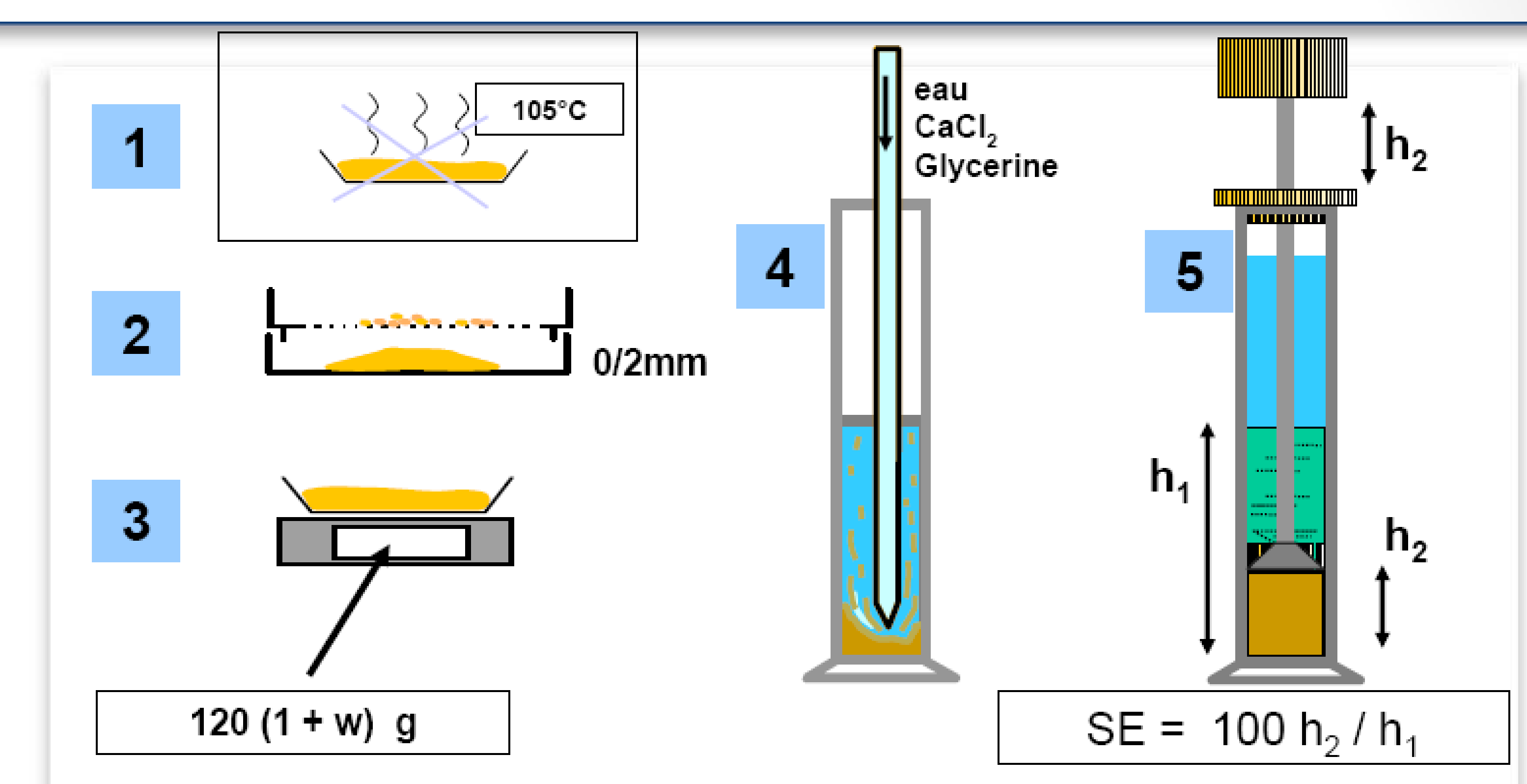
VB : valeur au bleu

V : volume cumulée de BM

F : masse sèche en g

Equivalent sable

F
I
F



- L 'essai se fait sur la fraction 0/2 des sables et graves (120 g)
- Après un lavage normalisé, le sable et les fines floculées sont laissés reposer 20 minutes.
- On mesure la hauteur de sable sédimenté h2 et la hauteur de sable propre plus fines floculées h1.
- Le rapport en pourcentage SE est d'autant plus proche de 100 que le sable testé est propre (pas d'argile ou d'ultra fines).

F
I
F

3 Essai Los Angeles L_A

- Mode opératoire :

Ordre de grandeur LOS ANGELES:
Grès : = 13
Granit : = 18
Très bon calcaire blanc : = 35
Calcaire moyen : = 50

1 5kg de granulats + billes d 'acier de D de 5 mm

Jarre métallique

3 On quantifie le passing à 1,6 mm exprimé en %.

2 On fait tourner pendant 500 tours

Limite L_A < 45

Plus le L.A. est élevé, plus les granulats sont tendres.

Pour les travaux routiers on demande en général un M_{DE} < à 27 avec une limite maxi de 45
Ordre de grandeur M_{DE}
Calcaires = 30
Alluvions siliceuses de Garonne = 10 à 12

F I F

Essai Micro-Deval M_{DE}

- Mode opératoire :

1
500 gr de granulats + billes d 'acier de D de 10 mm + eau

Jarre métallique

2
On fait tourner pendant 5 heures

3
On quantifie le passing à 1,6 mm exprimé en %.

Plus le M.D.E est élevé, plus les granulats s 'usent vite.

Essai Friabilité des sables F_S

F I F

- Mode opératoire :

1
500 gr de sable 0.2/2 mm+ billes d 'acier de D de 30, 18 et 10 mm + 2.5 l d'eau

Jarre métallique

2
On fait tourner pendant 15 minutes à 100 tour/mn

3
On quantifie le refus à 0.2 mm exprimé en gr.

F_S = (500 – refus) / 500 * 100

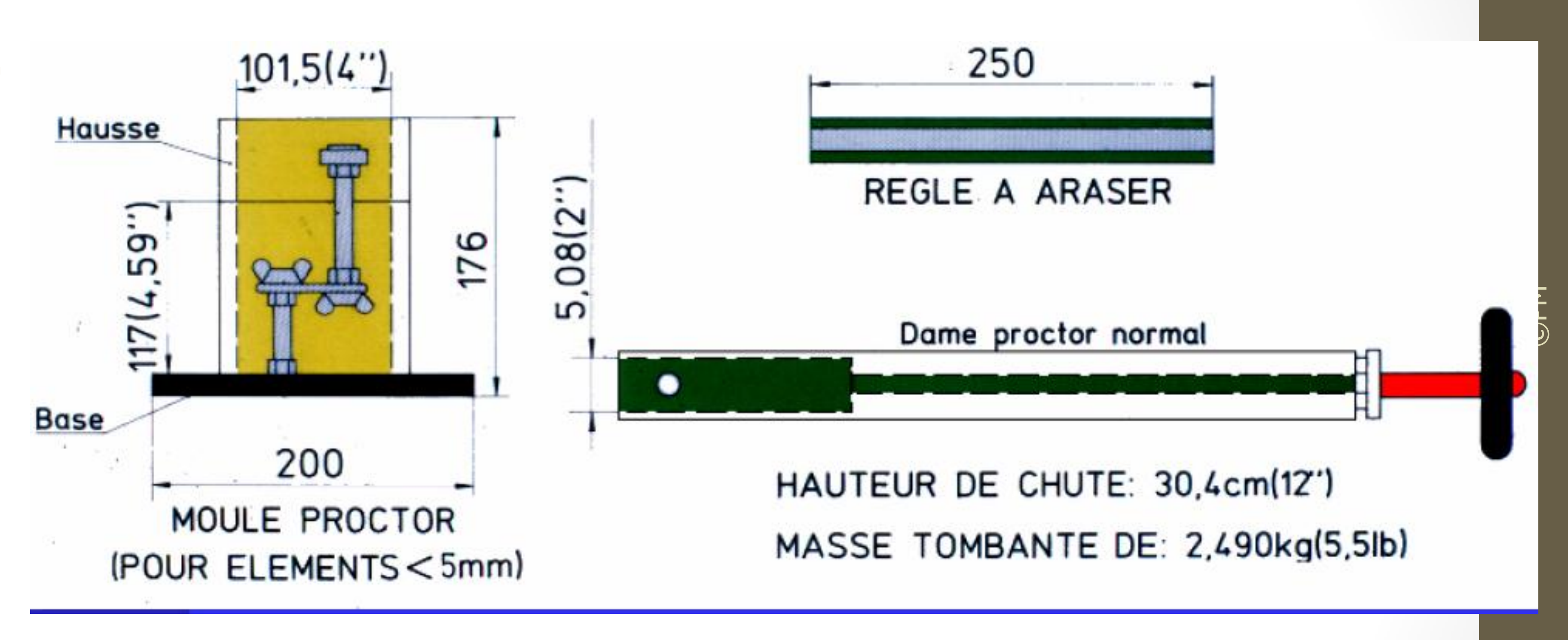
limite : $F_S < 60$ %

4 Paramètres d'état : Etat hydrique

- Pesée de l'échantillon humide (30 à 50 gr pour les argiles, 1 à 3 kg pour les graviers et sables)
- Etuvage de l'échantillon à 105°C (jusqu'à ce que la masse reste constante)
- Pesée de l'échantillon sec

Proctor

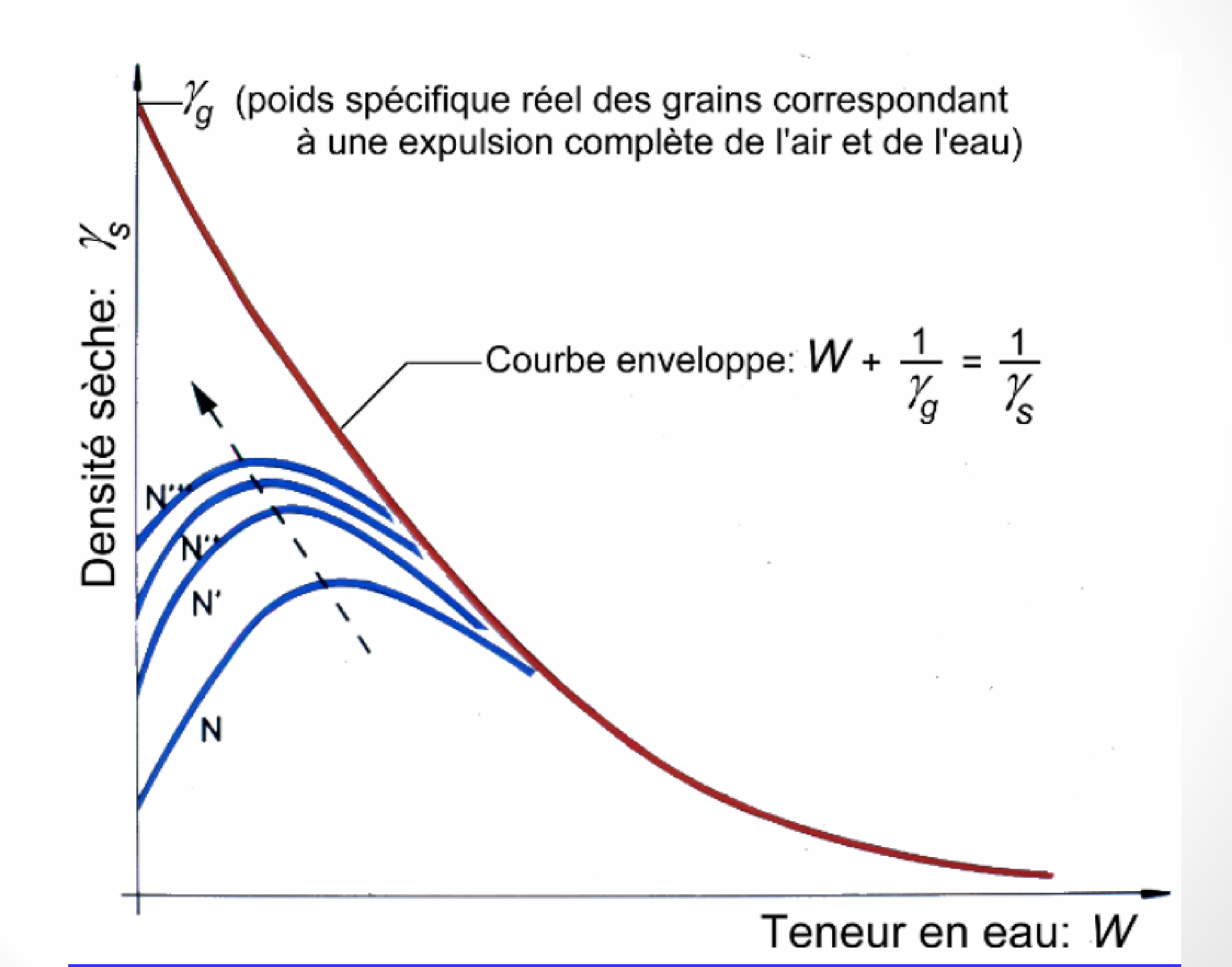
F
I
F



101,5(4")
Hausse
117(4,59")
176
Base
200
MOULE PROCTOR
(POUR ELEMENTS < 5mm)
250
REGLE A ARASER
5,08(2")
Dame proctor normal
HAUTEUR DE CHUTE: 30,4cm(12")
MASSE TOMBANTE DE: 2,490kg(5,5lb)

Proctor

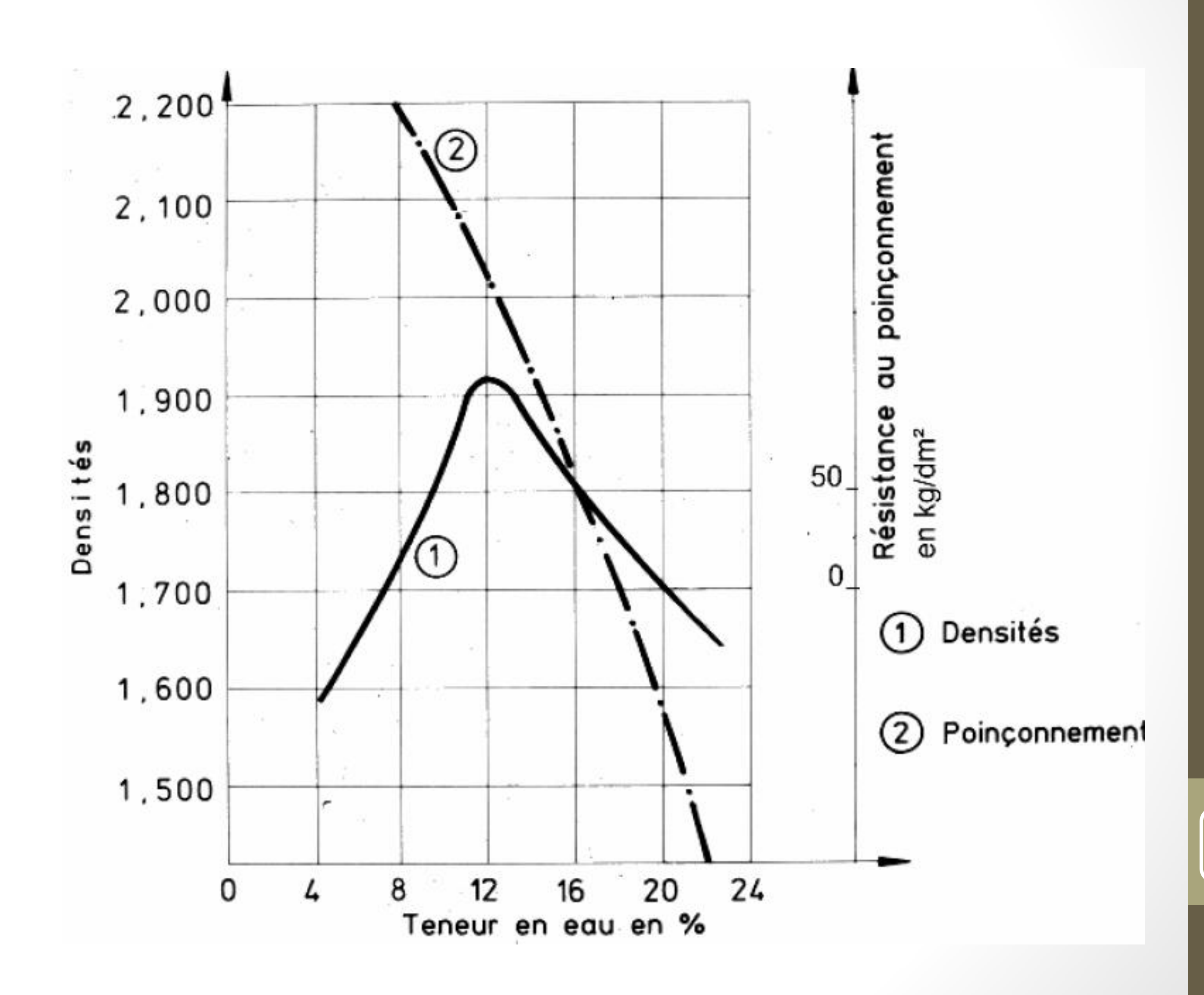
FIF



γ_g (poids spécifique réel des grains correspondant à une expulsion complète de l'air et de l'eau)
Densité sèche: γ_s
Courbe enveloppe: $W + \frac{1}{\gamma_g} = \frac{1}{\gamma_s}$
N'''
N''
N'
N
Teneur en eau: W

Proctor

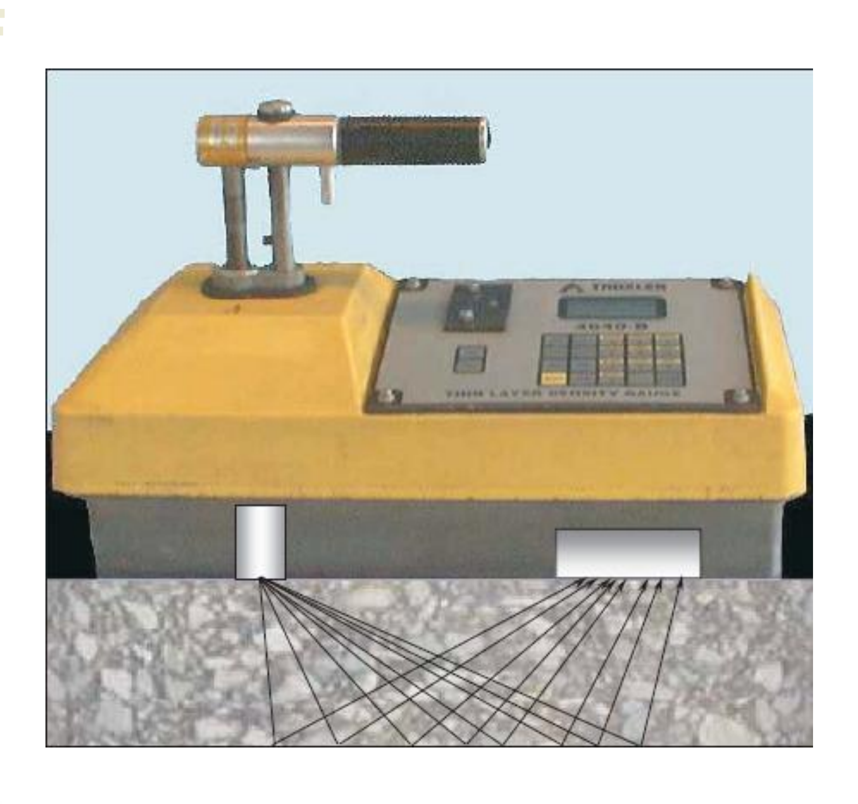
F
I
F



2,200
2,100
2,000
1,900
1,800
1,700
1,600
1,500
Densités
0
4
8
12
16
20
24
Teneur en eau en %
Résistance au poinçonnement en kg/dm²
50
0
① Densités
② Poinçonnement

Optimum Proctor normal : Mode opératoire

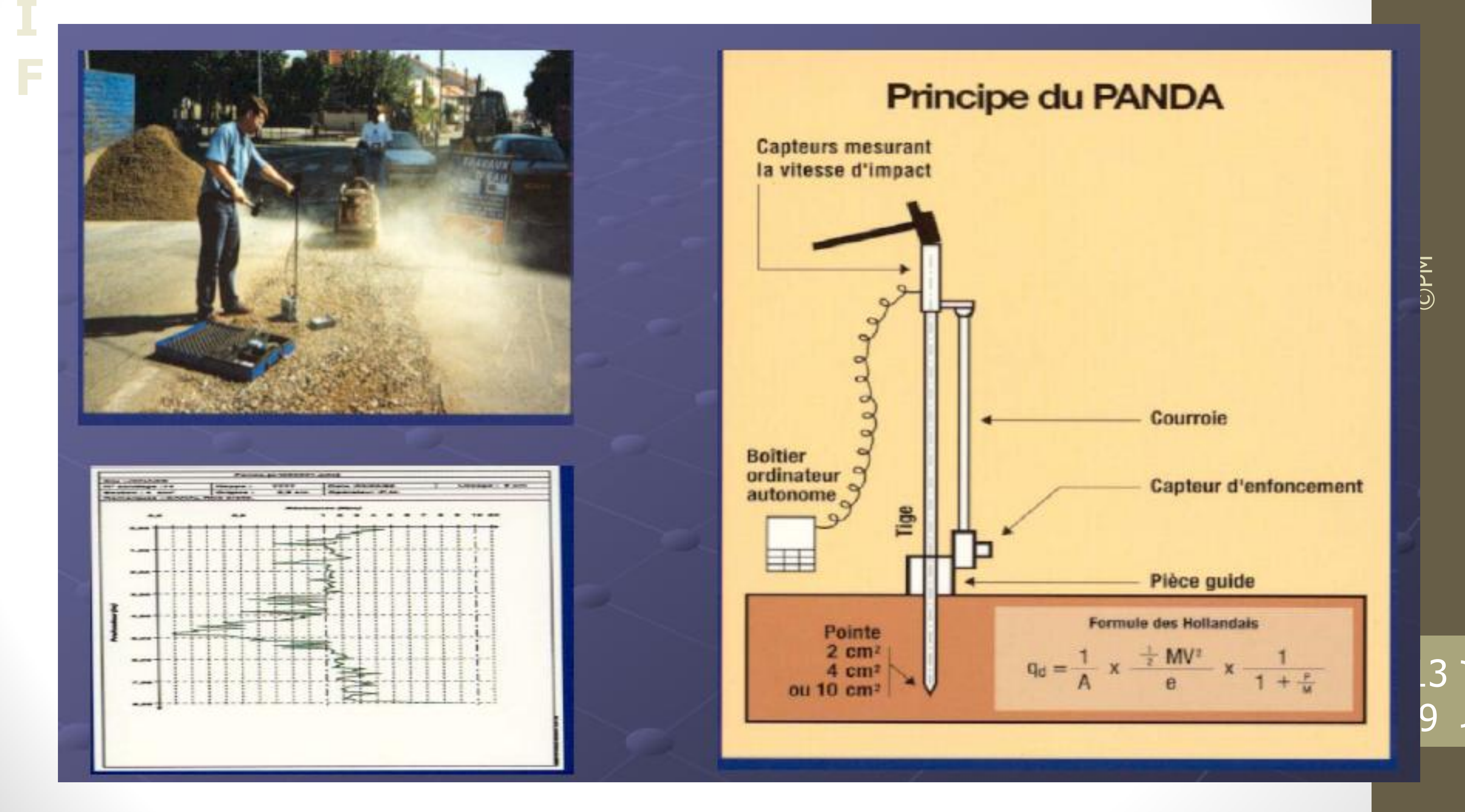
F
I
F



- Une source radioactive (césium-137) est émise dans le matériau. La masse volumique apparente est déterminée par rapport à l'intensité de sa réception.
- Résultats :
  - Masse volumique apparente [g/cm]
  - Teneur en vides [%-vol.]
  - Degré de compactage [%]

mesure au nucléodensimètre

Contrôle au Panda



Méthode C.B.R.

ICBR	Portance
<5	Mauvaise
De 5 à 10	Moyenne
> 10	Bonne

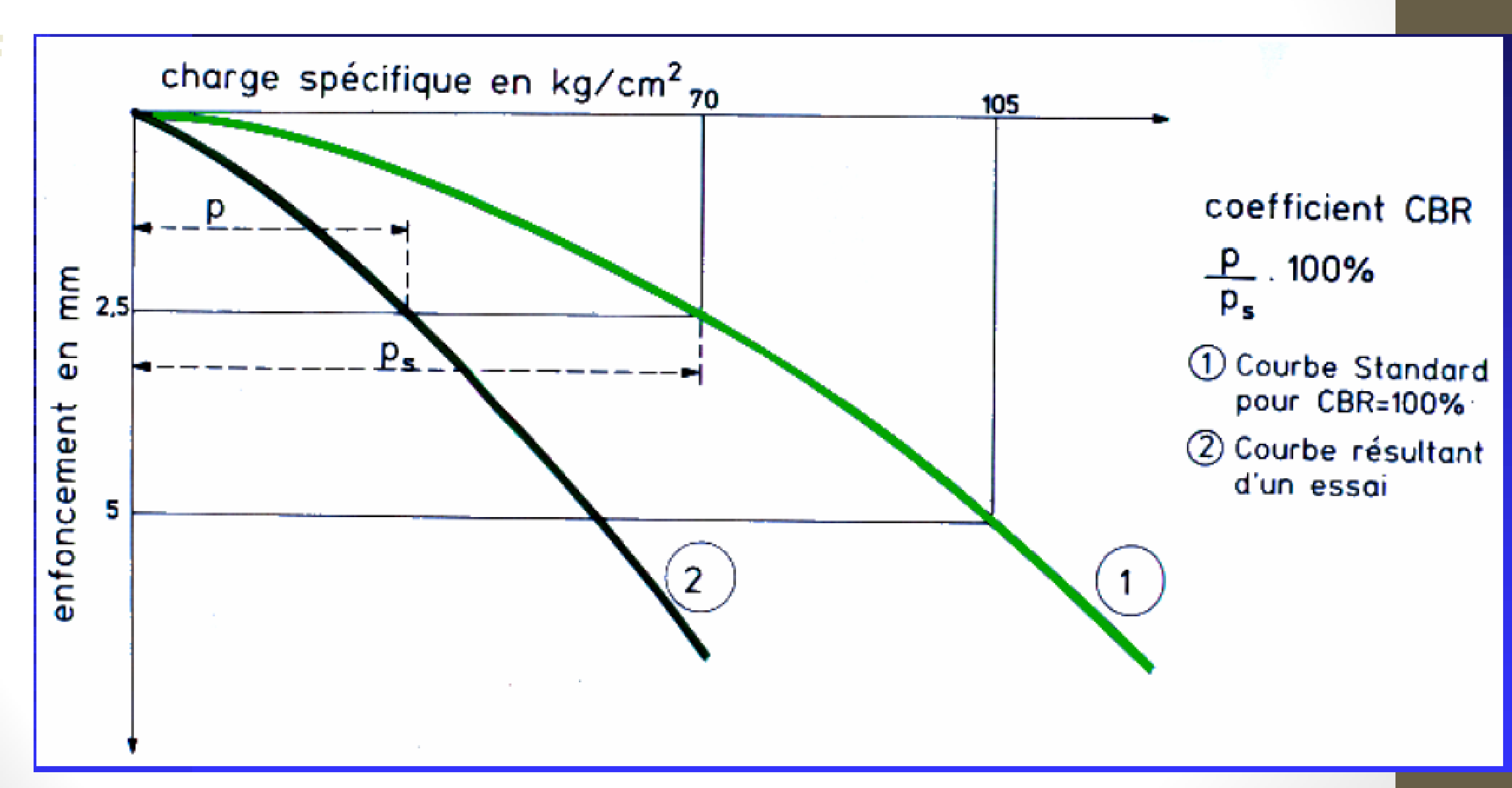
FIF

Cet essai consiste à enfoncer un poinçon cylindrique normalisé, à vitesse constante, dans un matériau compacté à diverses teneurs en eau et à noter la force en kN (kilonewton) qu'il a fallu appliquer pour produire un enfoncement précis.

Indice CBR = force à appliquer sur l'échantillon pour un enfoncement de X mm / celle sur un matériau de référence.



CBR


charge spécifique en kg/cm²
70
105
enfoncement en mm
2,5
5
p
p_s
coefficient CBR
$\frac{p}{p_s} \cdot 100\%$
① Courbe Standard pour CBR=100%
② Courbe résultant d'un essai
2
1

Indice portant immédiat

F
I
F

- Il s'agit par cet essai immédiat de caractériser par un indice conventionnel le comportement en résistance de poinçonnement d'un sol préparé dans les conditions de compactage de l'essai Proctor. La résistance à l'enfoncement du poinçon cylindrique à vitesse constante est comparée à celle d'un matériau de référence (grave concassée).
- La comparaison des résistances s'effectue en deux enfoncements caractéristiques (2,5mm et 5mm). C'est la plus grande des deux valeurs qui est retenue.
- $\dfrac{\text{Effort de pénétration à 2,5 mm d'enfoncement (en kN)}}{13,5} \times 100$
- $\dfrac{\text{Effort de pénétration à 5 mm d'enfoncement (en kN)}}{20} \times 100$
- Les valeurs de 13,5 et 20 kN sont respectivement les forces provoquant l'enfoncement du piston de 2,5 et 5mm sur le matériau de référence.

Dynaplaque

F
I
F

- L'appareil permet d'appliquer sur la plate-forme une sollicitation dynamique équivalente en intensité et en fréquence à celle provoquée par le **passage d'un essieu de 13t roulant à 60 km/h**.
- Pour cela on fait tomber une masse sur une couronne de ressorts fixés sur la plaque reposant sur le sol, on mesure alors la réponse de la plate-forme à cette sollicitation par le coefficient de restitution énergétique du choc ainsi engendré grâce à des capteurs.
- Deux déflexions (W_1 et W_2) sont mesurées pour chaque point par des mises en charge régulières de la plaque. La première charge était de 7065daN (soit une pression de 2,5 bars) et la deuxième de 5650daN (soit une pression de 2 bars).

Calcul de la déflexion à la dynaplaque

FIF

- $Ev = \dfrac{1,5 \times Q \times a}{W} \times (1 - s^2)$ le résultat est exprimé en bars

  avec
- *Q : pression moyenne sous la plaque en bars*
  a : rayon de la plaque en mm
  W : déflexion en mm
  s : coefficient de Poisson égal à 0,25
- 1 Mpa = 10 bars

[redacted] **Ev (Mpa) = 5 CBR**

Poutre de Benkelman

F
I
F



Cette poutre reposant d'un côté sur le sol (palpeur) est munie à l'autre extrémité d'un comparateur, permet de mesurer l'enfoncement du sol lors du passage d'une charge. En l'absence de test à la dynaplaque, cette technique donne une information intéressante et peu onéreuse. Ordre de grandeur pour une plate forme destinée à supporter une chaussée : la déflexion doit être inférieure à 2 mm.

5) Mode opératoire de traitement des sols à la chaux ou aux liants hydrauliques

F
I
F

1. Dans le cas de la centrale, le sol naturel est amené de l'emprunt à la centrale où il est mélangé avec le(s) liant(s) puis retransporté sur le lieu d'utilisation. Une centrale est une installation fixe qui est constituée de trémie, de silos de stockage de liants, de tapis transporteurs et/ou doseurs, d'un système réglable d'apport d'eau et d'un malaxeur à arbre horizontal.

- Dans le cas du traitement en place le sol naturel est traité sur le lieu d'utilisation. Le matériel nécessaire est composé de :
  - une épandeuse de liants : citerne tractée de 12 à 16 m3 avec système de dosage pondéral asservi à la vitesse d'avancement ;
  - une arroseuse de 10 à 15 m3, avec une rampe munie d'injecteurs, tractée ou auto-motrice ;
  - un malaxeur : soit une charrue à socs tractée par un bouteur, soit un pulvérisateur auto-moteur (pulvi-mixer) à rotor horizontal. La profondeur de malaxage est d'environ 0.40 à 0.50 m.

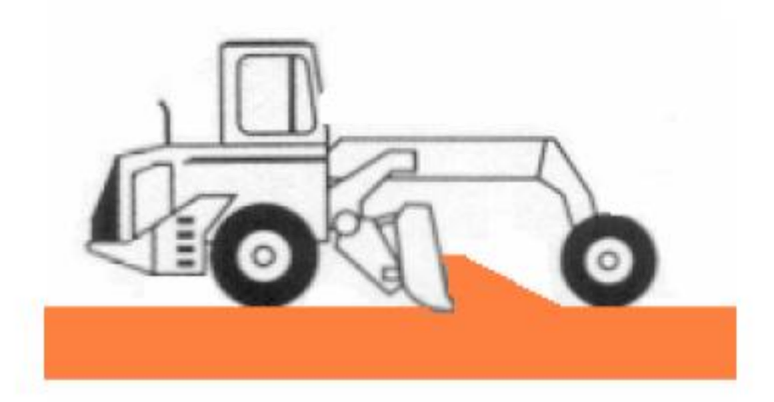
Traitement sur place



Phase 1 : Epandage du liant



Phase 2 : Malaxage et arrosage (sol + liant)



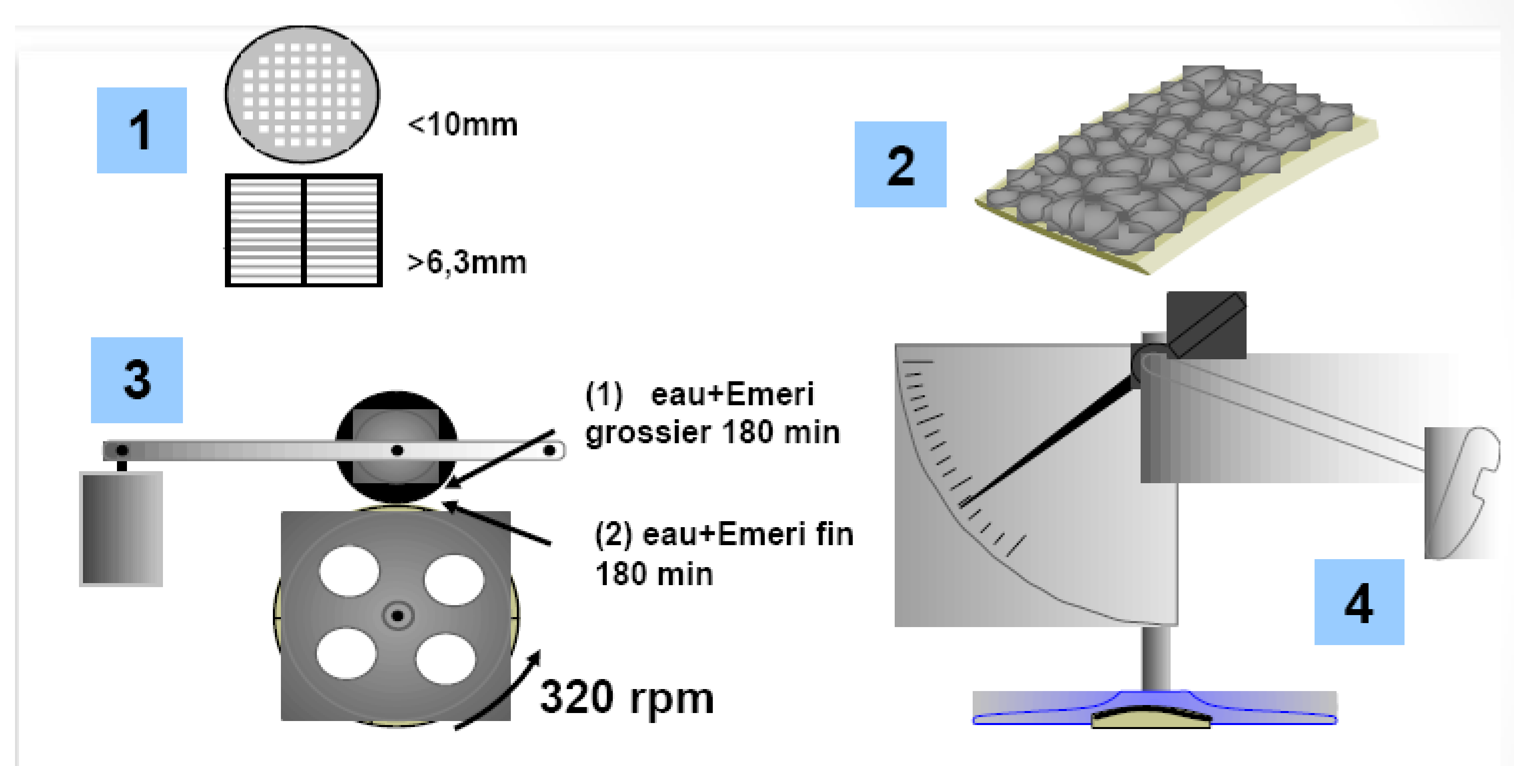
Phase 3 : Réglage de la plateforme



Phase 4 : Compactage de la plateforme

6/ Intrinsèque : PSV

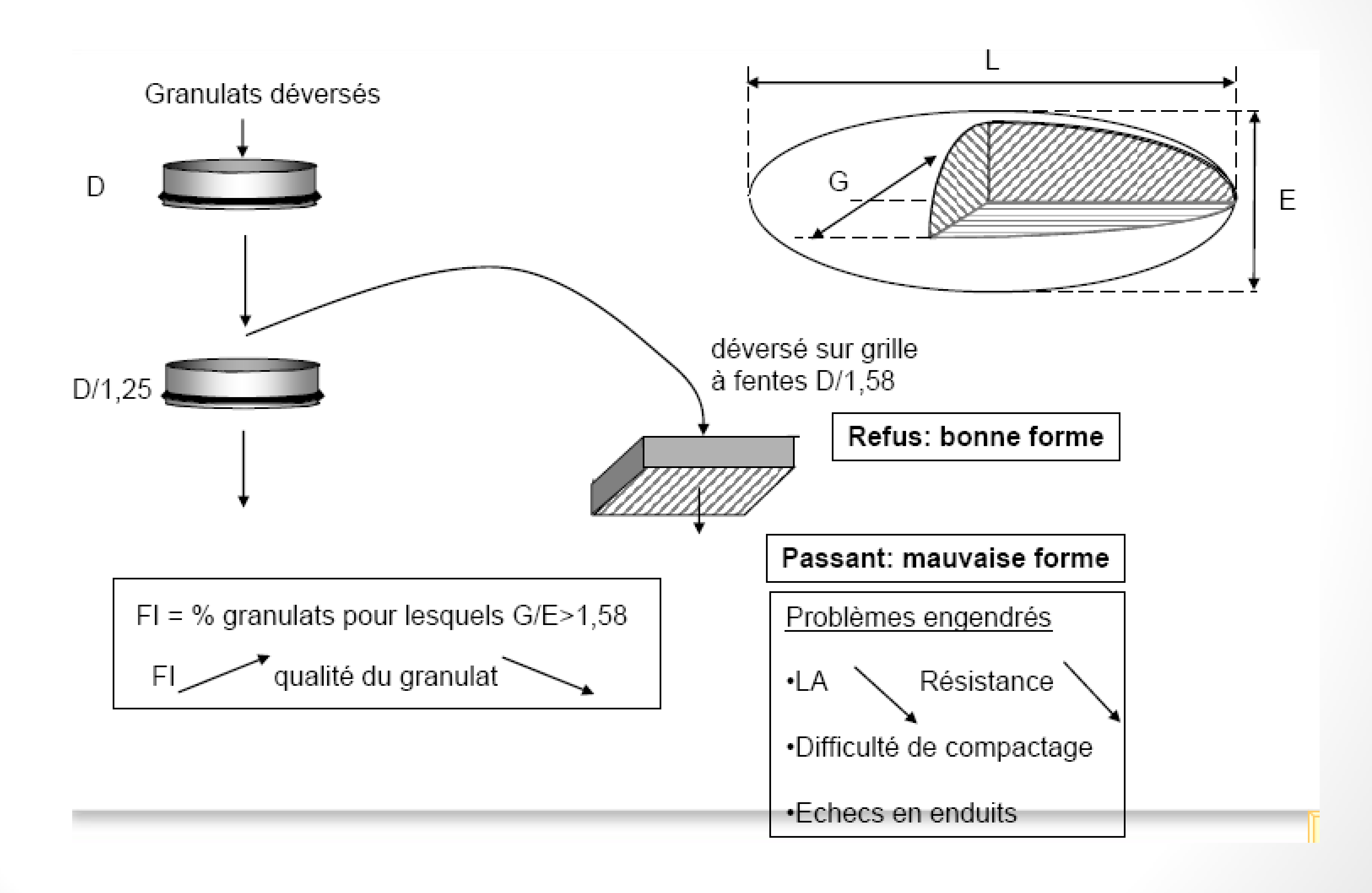
FIF



- L 'essai est réalisé sur une fraction granulaire 6/10 calibré, déplaté.
- Après disposition des granulats dans un moule et collage avec de la résine, les éprouvettes subissent deux cycles de polissage, puis une mesure de rugosité résiduelle, à l 'aide du pendule SRT, qui comparée à un granulat de référence, donne la valeur PSV du granulat (45 < PSV < 65).

7/ Aplatissement FI

FIF



Fabrication des gravillons

F
I
F

CARACTERISTIQUES	ARTICLE 7 (Fondation, base et liaison)		ARTICLE 8 (Roulement en liant bitumineux)	
	ESSAIS	CODES	ESSAIS	CODES
De fabrication des gravillons	Granularité Teneur en fines Aplatissement	De III à V	Granularité Teneur en fines Aplatissement	De I à III

Granularité : fuseaux
Teneur en fines : passing au 0,063 mm
Aplatissement FI : passing à travers une grille à fentes
Plus FI est élevé moins bon est le granulat car LA augmente
FI < 35 % (Annexe 7)